EINFLUSS DER VERDECKUNG AUF TÖNE UND SPRACHE BEI NORMALEM UND PATHOLOGISCHEM GEHÖR

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt von
Monika Janinhoff
aus Essen

Bonn 1980

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546506_0032

EINFLUß DER VERDECKUNG AUF TÖNE UND SPRACHE BEI NORMALEM UND PATHOLOGISCHEM GEHÖR

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt von
MONIKA JANINHOFF
aus Essen
Bonn 1980

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angefertigt mit Genehmigung

der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof.Dr. H.J. Opitz

2. Gutachter: Prof.Dr. H.J. Hufschmidt

Aus der Hals-Nasen-Ohren Klinik der Universität Bonn

Direktor: Prof.Dr.med. W. Becker

Druck: Fotodruckerei Mainz, Aachen

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	5
2. Physiologische Aspekte der Verdeckung	6
3. Untersuchungen zur Verdeckung von Tönen	8
4. Versuche zur Geräusch-Ton Verdeckung	17
4.1. Meßapparatur und Versuchsanordnung	17
4.1.1. Erstellung, Analyse und Eichung der Geräusche	17
4.1.2. Versuchsaufbau	23
4.1.3. Auswertung der Meßergebnisse	24
4.2. Versuchsdurchführung	25
5. Vorversuche	30
6. Versuchsergebnisse	32
6.1. Normalhörende Probanden	32
6.2. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom basocochleären Typ	35
6.3. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom pancochleären Typ	37
6.4. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom apicocochleären Typ	40
7. Diskussion	43
8. Untersuchungen zur Verdeckung von Sprache	57
9. Versuchsaufbau zur Verdeckung von Sprache durch Geräusche	62
9.1. Meßapparatur und Versuchsanordnung	62
9.2. Auswertungsschema	64
9.3. Versuchsdurchführung	64
10. Versuchsergebnisse	68
10.1. Normalhörende Probanden	68
10.2. Probanden mit basocochleären Hörstörungen	69
10.3. Proband mit apicocochleärer Hörstörung	71

Seite

11. Ergänzender Versuch 73
12. Diskussion 74
13. Schlußfolgerungen 77
14. Zusammenfassung 78
15. Literaturverzeichnis 80

1. Einleitung

Für die volle Entfaltung des Menschen ist seine Kommunikation mit der Umwelt unbedingte Voraussetzung. "Der Mensch ist vorwiegend ein Augenwesen. Verglichen mit seiner Sehwelt sind die Welten seiner anderen Sinnesorgane (Hörwelt, Tastwelt, usw.) weit geringer entwickelt" (BLAUERT, 1974). Trotzdem spielt das Hörorgan bei fast allen Interaktionen des Menschen mit seiner Umwelt eine entscheidende Rolle.

Wichtige Parameter der akustischen Information sind Frequenz, Intensität und Zeit (KEIDEL 1976). Bei normalem Gehör gibt es für jede Frequenz eine bestimmte Lautstärkeintensität, die notwendig ist, um einen Ton hörbar zu machen. Die Lautstärke, bei der ein Schallereignis gerade wahrnehmbar ist, wird als Hörschwelle bezeichnet und durch die audiometrische Messung ermittelt.

Bei pathologischem Gehör ist die Hörschwelle gegenüber der Normalhörender zu höheren Intensitäten verschoben. Die zur Feststellung von Hörschäden am häufigsten angewandte audiometrische Messung ist die Bestimmung der Ruhehörschwelle.

In der normalen Hörsituation ist das Ohr nicht Einzelsignalen ausgesetzt, sondern es treten ständig Umweltgeräusche hinzu. Bei der Messung von Mithörschwellen kann die Testsituation der normalen Hörsituation stärker angenähert werden. Die Mithörschwelle gibt denjenigen Pegel an, bei dem ein Testton aus dem Störschall gerade herausgehört wird. Die Mithörschwelle liegt über der Ruhehörschwelle, weil der Störschall entsprechend seiner Intensität den Testton verdeckt.

In dieser Arbeit wird der Einfluß von Geräuschen aus der Umwelt auf die Mithörschwelle von Tönen und auf das Sprachverständnis untersucht. Ziel der Untersuchung ist es festzustellen, ob Probanden mit cochleären Hörstörungen in ihrer Kommunikation mit der Umwelt durch Störschalle stärker beeinflußt werden als Normalhörende und ob der Grad der Beeinträchtigung vom Charakter des Geräusches abhängig ist.

2. Physiologische Aspekte der Verdeckung

Über die Entstehung von Verdeckungsphänomenen bestehen unterschiedliche Vorstellungen.
LÜSCHER und ZWISLOCKI vertraten 1949 die Auffassung, die Verdeckung sei wie die Adaptation ein peripheres Phänomen. 1957 beschrieb DAVIS, daß die Verdeckung durch eine Ausschöpfung (preemptying) der Aktivität der Nervenfasern durch das verdeckende Geräusch zustandekomme. Auch nach elektrophysiologischen Untersuchungen von SPOOR und EGGERMONT (1974) an Meerschweinchen findet die Frequenzselektion hauptsächlich in der Cochlea statt. Sie verdeckten Töne unterschiedlicher Frequenz mit einem kontinuierlichen Ton. Der Verdeckungseffekt wurde sowohl durch psychoakustische Messungen als auch durch Registrierung der Aktionspotentiale ermittelt. Die gleichartigen Ergebnisse beider Meßmethoden veranlaßten SPOOR und EGGERMONT, die Schwellenerhöhung, die durch einen Störschall hervorgerufen wird, als ein durch periphere Mechanismen entstehendes Phänomen zu bezeichnen.

LICKLIDER (1948) stellte in seinen Untersuchungen fest, daß bei der Verdeckung nicht nur periphere sondern auch zentrale Phänomene beteiligt sind. ZWISLOCKI (1970) beobachtete, daß die Hörschwelle des einen Ohres durch die Anwesenheit von Geräuschen auf dem Gegenohr erhöht wird. Der Effekt müsse folglich durch die neurale Interaktion bedingt sein; er wird von ihm mit "central masking" bezeichnet.

In neuerer Zeit wurden insbesondere elektrophysiologische Untersuchungen durchgeführt, um die Physiologie der Verdeckung zu erforschen. Besonders FORBES et al. (1927), DAVIS (1960), KIANG (1965), SACHS und KIANG (1967), LANGENBECK und LEHNHARDT (1970) beschäftigten sich mit Untersuchungen zur Verdeckung (OPITZ, 1973).
Bei Beschallung mit breitbandigem Rauschen und zusätzlicher Ton- und Clickreizung kommt es zu einer Abnahme der neuralen Erregung, die durch den "line-busy-Effekt" erklärt wird. Dieser Effekt beruht auf der physiologischen Ineffektivität refraktärer Nervenfasern.

Bei neural Schwerhörigen sind also zum Beispiel in der Langenbeck'schen Geräuschaudiometrie, die Verdeckungsphänomene zur Differenzierung zwischen cochleären und retrocochleären Hörstörungen untersucht, höhere Schalldruckpegel der Töne in Relation zum Geräusch notwendig, weil neue Fasern in Anspruch genommen werden müssen. Bei Einzelfaserableitungen lassen sich auch durch Töne, die höher oder tiefer als die Bestfrequenz der Einzelfaser liegen, Verdeckungseffekte erreichen. Die Änderung der neuralen Antwort hat eine sehr kurze Latenzzeit; daher wird ein zentraler Einfluß ausgeschlossen (OPITZ, 1973).
Auch Studien zur kontralateralen Verdeckung zeigen ein Überwiegen der peripheren Verdeckungsphänomene, jedoch zusätzlich geringe zentrale Einflüsse.

3. Untersuchungen zur Verdeckung von Tönen

SCHARF (1971) gibt einen Abriß über die Geschichte der Verdeckungsmessung. Schon 1876 beschrieb MAYER, daß die Verdeckung hochfrequenter Schalle durch Störsignale mit tiefer gelegenem Frequenzgehalt stärker ist als der Verdeckungseinfluß hochfrequenter auf tieffrequente Schalle. Aus diesem Grund sind zum Beispiel in gemischten Chören immer weniger Männer- als Frauenstimmen vertreten, in Orchestern weniger Celli als Geigen. Allerdings beschreibt SCHARF, daß bei höchsten Lautstärkeintensitäten eventuell eine Umkehrung der Verdeckungsverhältnisse in der Form auftritt, daß hochfrequente Schalle tieffrequente stärker verdecken.
WEGEL und LANE beschrieben 1924, daß die Verdeckung umso stärker ist, je näher die Frequenzen des verdeckten bzw. verdeckenden Tones (Geräusches) beieinander liegen. Zur Abhängigkeit der Verdeckung reiner Töne durch Breitbandgeräusche von der Intensität zeigten FLETCHTER und MANSON, daß die Verdeckung fast direkt proportional mit der Lautstärkeintensität des verdeckenden Schalls ansteigt.

Ausführliche Untersuchungen zur Verdeckung durch unterschiedliche Schalle führten ZWICKER und FELDTKELLER (1967) an normalhörenden Probanden durch:

1) Verdeckung eines Tones durch weißes Rauschen:

"Weißes Rauschen hat die Eigenschaft, daß seine Schallintensitätsdichte von der Frequenz unabhängig ist."
Es hat "in jedem Frequenzabschnitt und auch in jedem Zeitabschnitt die gleichen Eigenschaften." (ZWICKER, 1967)

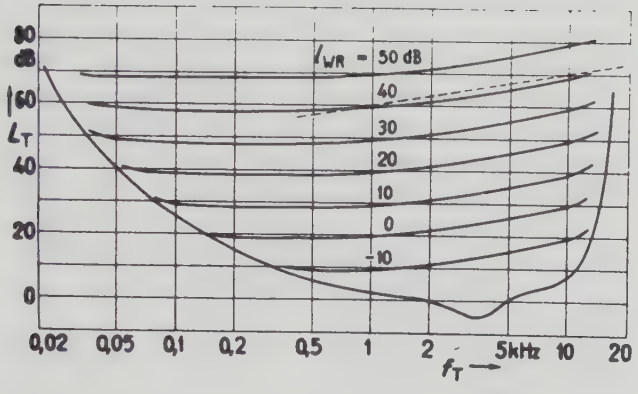

Abb. 1: Mithörschwelle eines Tones, verdeckt durch weißes Rauschen (nach ZWICKER, 1967)

Obwohl das Spektrum des weißen Rauschens horizontal durch die Hörfläche läuft, liegen die Mithörschwellen nicht horizontal. Die Erklärung dafür liegt im Vorhandensein von Frequenzgruppen, die das Gehör aus den vielen im Geräusch vorhandenen Frequenzen bildet. Die Frequenzgruppen haben unterhalb 500 Hz dieselbe Breite, oberhalb von 500 Hz nimmt ihre Breite proportional mit der Frequenz zu.

2) Verdeckung eines Tones durch gleichmäßig verdeckendes Rauschen:

Der Anstieg der Mithörschwelle bei Verdeckung mit weißem Rauschen ab 500 Hz kann beseitigt werden, indem die Schallintensitätsdichte des weißen Rauschens bei hohen Frequenzen entsprechend gesenkt wird. Das so erhaltene Rauschen wird gleichmäßig verdeckendes Rauschen (GVR) genannt.
Bei Beschallung durch GVR ergeben sich Mithörschwellen, die in der gesamten Hörfläche genau horizontal verlaufen.

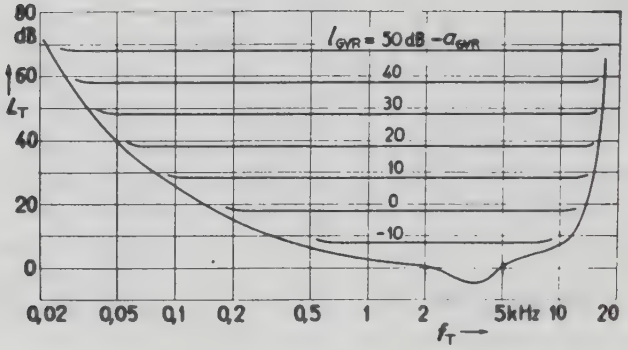

Abb. 2: Mithörschwelle eines Tones, verdeckt durch gleichmäßig verdeckendes Rauschen (nach ZWICKER, 1967)

3) Verdeckung eines Tones durch Schmalbandrauschen:

Schmalbandrauschen wird erzeugt, indem ein Breitbandrauschen durch ein Bandfilter mit schmalem Durchlaßbereich und großer Flankensteilheit begrenzt wird.

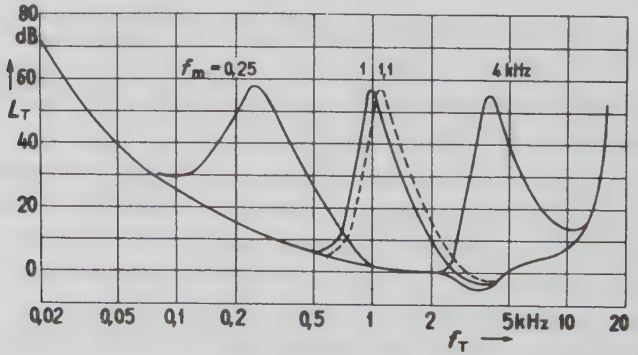

Abb. 3: Mithörschwelle eines Tones, verdeckt durch Schmalbandrauschen mit unterschiedlicher Mittenfrequenz (nach ZWICKER, 1967)

Der Verdeckungseffekt ist am größten bei Übereinstimmung der Mittenfrequenz des Geräusches mit der Frequenz des zu verdeckenden Tones. Tieffrequente Geräusche verdecken ein breiteres Frequenzspektrum. Wird nicht die Mittenfrequenz geändert, sondern die Intensität,ergibt sich der in Abb. 4 gezeigte Verlauf der Kurven.

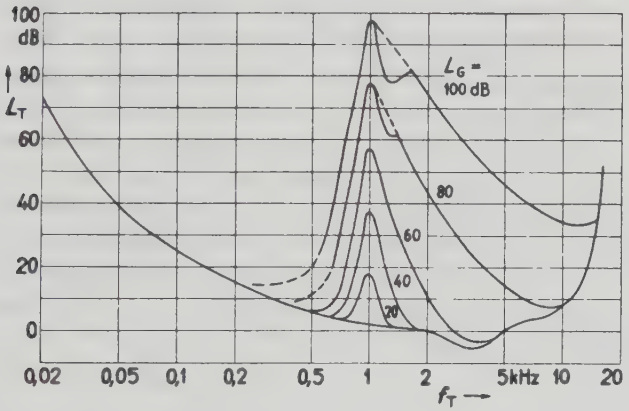

Abb. 4: Mithörschwellen eines Tones, verdeckt durch Schmalbandrauschen unterschiedlicher Intensität (nach ZWICKER,1967)

Bei den unterschiedlichen Intensitäten ergibt sich jeweils das Maximum der Verdeckung bei der Mittenfrequenz des Schmalbandgeräusches; der Schallpegel des Geräusches wird von der Testtonlautstärke bis auf 4 dB erreicht. Das Gehör ist in der Lage, frühzeitig einen Ton in einem Geräusch zu entdecken. Mit Anstieg der Geräuschintensität werden mehr umliegende Frequenzen mitverdeckt. Bei hohen Frequenzen des Testtones wirkt sich die Geräuschintensitätserhöhung stärker auf die Mithörschwelle aus als bei tieferen Testtönen. Sie bewirken bei Erhöhung um 20 dB im Maximum eine Verschiebung um 20 dB, bei hohen Frequenzen jedoch um mehr als 30 dB.

Auch WILSON, STREAM und DIRKS (1973) berichteten von diesem frequenzabhängigen Verdeckungsverhalten; sie fanden außerdem, daß die Abnahme des Verdeckungseinflusses durch das Geräusch von dem am stärksten verdeckten Ton zu niedrigfrequenteren Tönen steiler als zu höherfrequenteren ist.

ZWISLOCKI (1970) untersuchte ebenfalls die Verdeckung von Tönen durch Schmalbandrauschen. Er findet im Gegensatz zu ZWICKER mit steigender Intensität eine Verlagerung des Maximums der Verdeckung zu tieferen Frequenzen. Unterhalb des Maximums liegt ein relatives Minimum, dessen Abstand vom Maximum mit ansteigender Geräuschintensität wächst.

Untersuchungen von SCHARF (1971) zeigen, daß die Verdeckung beinahe direkt proportional zu der Lautstärke des verdeckenden Schalls ansteigt, vorausgesetzt die Verdeckungsintensität ist größer als 15 dB und die Frequenz des Signals liegt innerhalb der Frequenzgrenzen des verdeckenden Geräusches. Bei geringer Verdeckungslautstärke ändert sich die Mithörschwelle nicht, wenn der verdeckende Schall die kritische Bandbreite überschreitet. Bei hoher Verdeckerlautstärke steigt die Mithörschwelle mit der Bandbreite (SCHARF, 1971).

4) Verdeckung von Tönen durch Tiefpaßrauschen:

Tiefpaßrauschen wird erzeugt aus weißem Rauschen, das durch einen Tiefpaß mit sehr steilem Dämpfungsanstieg begrenzt wird.

Oberhalb der Grenzfrequenz verläuft die Mithörschwelle wie die obere Flanke der Mithörschwelle eines Tones, der durch Schmalbandrauschen verdeckt wird. Man findet "eine Mithörschwelle, die bis zur Grenzfrequenz mit der Mithörschwelle eines Tones, der durch weißes Rauschen verdeckt wird, übereinstimmt, und die oberhalb der Grenzfrequenz wie die obere Flanke der Mithörschwelle eines Tones verläuft, der durch ein Schmalbandrauschen verdeckt wird" (ZWICKER, 1967).

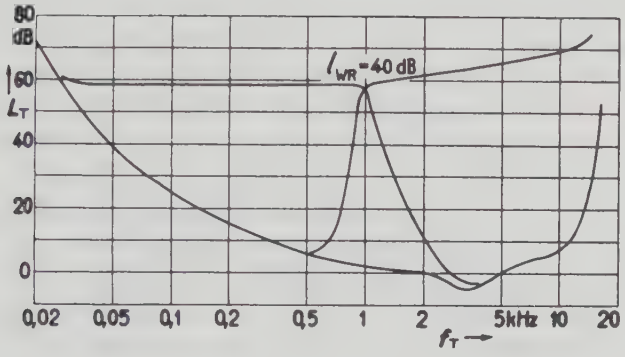

Abb. 5: Mithörschwelle eines Tones, verdeckt durch Tiefpaßrauschen und durch Hochpaßrauschen (nach ZWICKER, 1967)

5) Verdeckung von Tönen durch Töne:

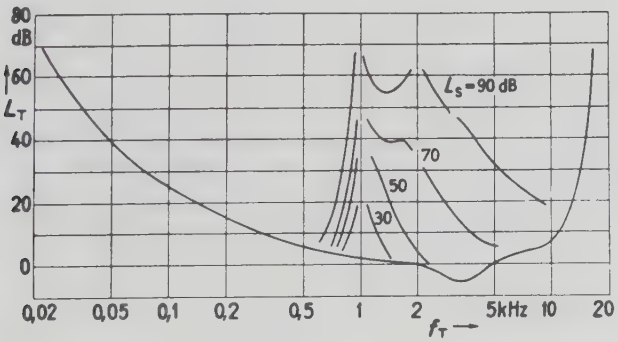

Abb. 6: Mithörschwellen eines Tones, verdeckt durch 1 kHz-Töne mit verschiedenem Pegel L_S (nach ZWICKER, 1967)

Abbildung 6 zeigt, daß die Mithörschwelle durch Schwebungen und Kombinationstöne aus Stör- und Testton in der Weise verändert wird, daß die Probanden zu den entsprechenden Frequenzen keine oder nur "ungenaue" Angaben machen können. Mit steigender Lautstärke des Störtons wird die Mithörschwelle zunehmend unsymmetrisch, so daß sie immer mehr der Mithörschwelle eines Tones ähnelt, "der durch kräftiges Schmalbandrauschen verdeckt wird" (ZWICKER, 1967).

VOGTEN fand 1974 nur bei mittleren Verdeckungsintensitäten das Verdeckungsmaximum bei der Störtonfrequenz. Bei niedrigen Intensitäten liegt das Verdeckungsmaximum oberhalb der Störtonfrequenz, die in dieser Untersuchung 1000 Hz beträgt. Bei hohen Intensitäten findet sich das Maximum der Verdeckung bei einer niedrigeren Frequenz als der des Störtons.
SPOOR und EGGERMONT (1974) geben an, daß zu höheren Lautstärkeintensitäten die Verdeckungskurve flacher wird.
In elektroencephalographischen Untersuchungen von SMITH und GOLDSTEIN (1973) wurden Klicks von 24 dB SL und weißes Rauschen unterschiedlicher Lautstärke auf dasselbe Ohr gegeben. Die elektroencephale Antwort auf die Klicks wurde registriert. Die Amplitude der hervorgerufenen Hirnrindenpotentiale sank mit wachsender Lautstärke des weißen Rauschens. Die Latenz der Antworten änderte sich nicht. Erreichte das weiße Rauschen eine Lautstärke, bei der die Klicks verdeckt wurden, wurde keine elektroencephale Antwort auf die Klicks registriert.

In Versuchen an schwerhörenden Probanden mit Schmalbandrauschen stellte OPITZ (1973) fest, daß die Mithörschwelle von Tönen der normalhörender Probanden bis auf die scheinbare Deformierung bei Erreichen der pathologischen Hörschwelle entspricht (Abb. 7).

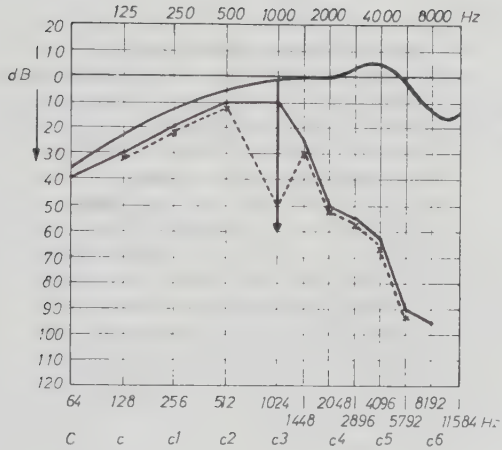

Abb. 7: Mithörschwellen von Tönen, verdeckt durch Schmalbandrauschen 1000 Hz bei pathologischem Gehör. Die Intensität des verdeckenden Geräusches ist durch einen Pfeil markiert (nach OPITZ, 1973)

In einigen Fällen registrierte OPITZ zu den hohen Frequenzen ein Ausweichen der Mithörschwelle zu höheren Intensitäten als von der Ruhehörschwelle her zu erwarten wäre. Es wurde ein langsamerer Abfall und ein Ausweichen von der pathologischen Schwellenkurve beobachtet. Dies erklärt er durch den "line-busy-Effekt".
OPITZ beschreibt bei einminütiger Beschallung in Untersuchungen zum Zeitgang der Verdeckung eine relative Stabilität der Mithörschwelle sowohl bei Normalhörenden als auch bei Schwerhörigen.

Zu dem Fragenkomplex, mit dem sich die genannten Untersuchungen beschäftigen, werden in dieser Arbeit weitere Untersuchungen

durchgeführt. Besonderes Interesse gilt dem Einfluß von Geräuschen aus der Umwelt auf die Mithörschwelle von Tönen. Außerdem soll die Abhängigkeit der Beeinflussung der Mithörschwelle vom Hörvermögen der Probanden untersucht werden.

4. Versuche zur Geräusch-Ton Verdeckung

4.1. Meßapparatur und Versuchsanordnung

4.1.1. Erstellung, Analyse und Eichung der Geräusche

Die Untersuchungen wurden mit drei verschiedenen Geräuschen durchgeführt, um beurteilen zu können, inwieweit die Beeinträchtigung des Hörens von dem Charakter des Störschalles abhängig ist.

1) Erstellung der Geräusche

Sprachsimulierendes Rauschen

Das Geräusch, das für die Untersuchungen benötigt wurde, wurde entsprechend dem zu Eichzwecken auf den Tonträger für normierte Sprachteste aufgetragenem Signal konzipiert.
Wir erzeugten das Geräusch mit Hilfe der im Blockschaltbild angegebenen Geräte.

Abb. 8: G = Rauschgenerator
S Filter zur Erzeugung von sprachsimulierendem Rauschen
F = Filter zur Freifeldentzerrung
T = Tonbandgerät zur Aufnahme des erzeugten Rauschens

Straßenverkehrslärm

Zur Herstellung des Geräusches nahmen wir zur Zeit des stärksten Verkehrs über eine Stunde den Lärm an einer Hauptverkehrsstraße auf, die den Durchgangsverkehr durch eine Großstadt führt. Der Lärm wurde vom Straßenrand her auf dem gleichen Kanal einer Stereotonbandkassette wie das sprachsimulierende Rauschen aufgenommen. Bei der Aufzeichnung der Lautstärke stellten wir mit dem Brüel und Kjær Level Recorder Typ 2305 Lautstärkeschwankungen von ± 10 dB und mehr fest; sie waren Folge des ständig an- und abschwellenden Verkehrs. Um die Lautstärkeschwankungen auf ± 5 dB zu reduzieren, wurde das Mutterband mit Hilfe mehrerer Tonbandgeräte insgesamt 21 mal überspielt (Abb. 9).

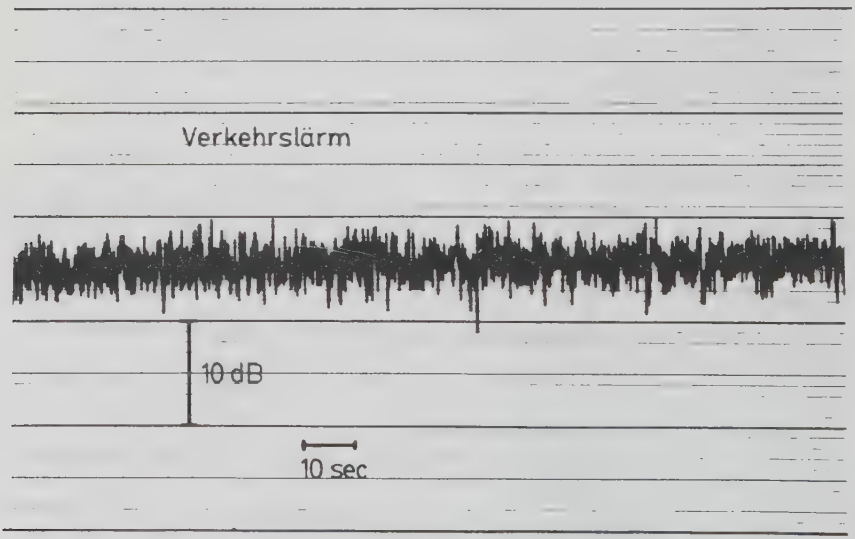

Abb. 9: Lautstärkeschwankungen des 21 mal überspielten Mutterbandes (Verkehrslärm)

Impulshaltiger Lärm

Mit der gleichen Technik wie bei der Aufnahme des Straßenverkehrslärms wurde zur Erstellung eines impulshaltigen Geräusches in einer Gesenkschmiede Lärm aufgenommen, in dem die unterschiedliche Schlagfolge der schweren Hämmer starke Impulse hervorrief. Die im Originalgeräusch zu findenden Lautstärkeintensitätsschwankungen von ± 15 dB wurden durch 21 maliges Überspielen auf Schwankungen von ± 5 dB reduziert (Abb. 10).

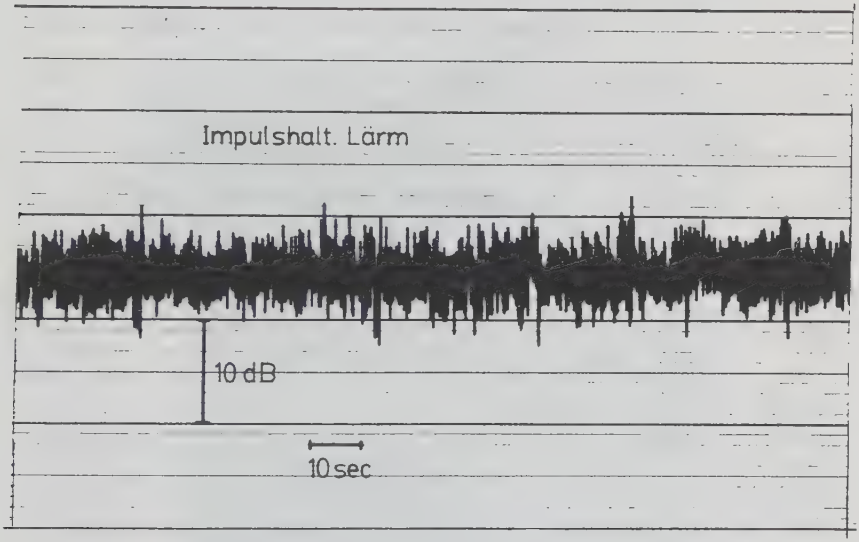

Abb. 10: Lautstärkeschwankungen des 21 mal überspielten Mutterbandes (impulshaltiger Lärm)

2) Frequenzanalyse der Geräusche

Zur Frequenzanalyse wurde das Gerät "Sonagraph® 7029 A 5-16000 Hz Spectrum Analyser" der Firma "Kay Elemetrics Co. Pine Brooks, N.J." benutzt. Im Sonagramm werden die Frequenzgehalte eines Sprachlauts in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen, wobei der Schwärzungsgrad der Aufzeichnung den Energieanteil darstellt. Im Sonagramm werden in Hinblick auf die Spracherkennung Frequenzen nicht exakt analysiert, sondern es werden in erster Linie komplexe Zeitmuster erkannt.

Sprachsimulierendes Rauschen

Bei diesem Geräusch treten Frequenzen bis etwa 3000 Hz auf. Die wesentlichen Anteile des Geräusches liegen unterhalb 1000 Hz. Es weist aber auch größere Frequenzanteile zwischen 1000 und 2000 Hz auf (Abb. 11).

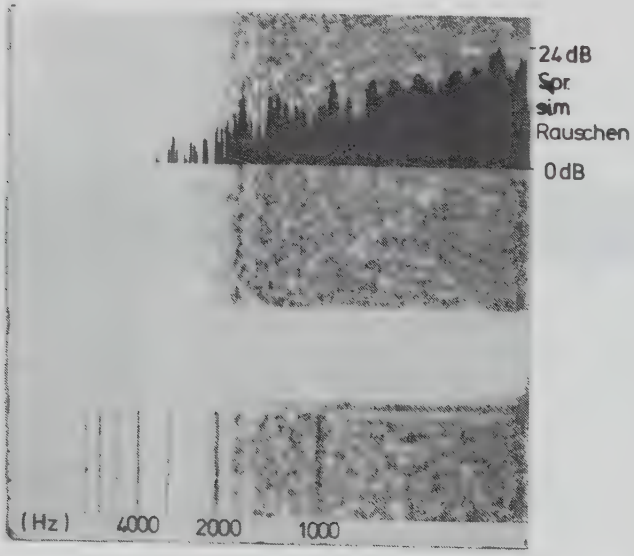

Abb. 11: Frequenzspektrum des sprachsimulierenden Rauschens

Straßenverkehrslärm

Bei der Frequenzanalyse des Originalgeräusches erhielten wir ein Spektrum von 0 bis 1800 Hz mit einem Hauptteil bei 125 bis 300 Hz. Das 21 mal überspielte Mutterband enthält die dem Originalgeräusch entsprechenden Frequenzen (Abb. 12).

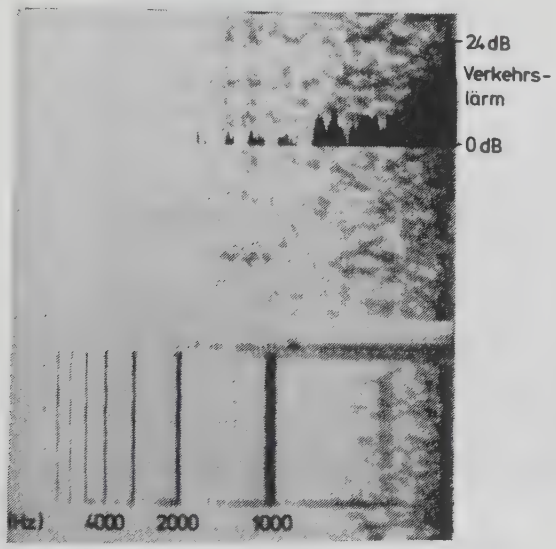

Abb. 12: Frequenzspektrum des Straßenverkehrslärms

Impulshaltiger Lärm

Überproportional vertreten sind die Frequenzen unter 1000 Hz. Es treten aber Frequenzen bis zu 7000 Hz auf. Das überspielte Geräusch verhält sich gleichartig (Abb. 13).

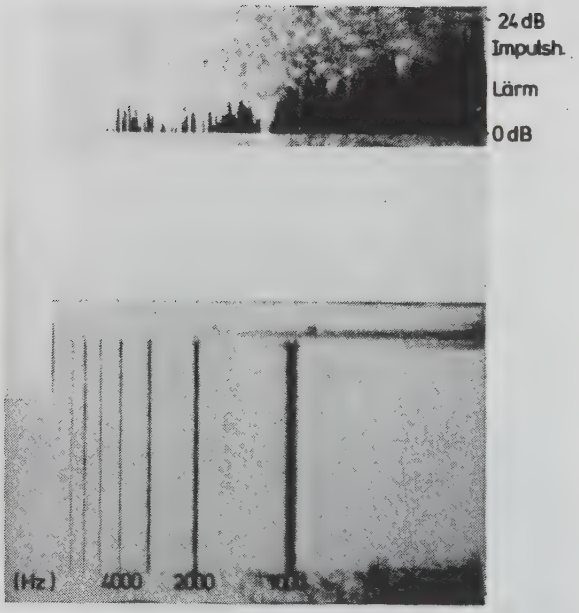

Abb. 13: Frequenzspektrum des impulshaltigen Lärms

3) Eichung der Lautstärke

Die Hörschwelle der oben beschriebenen Geräusche wurde bei zwölf normalhörenden männlichen und weiblichen Probanden im Alter zwischen 20 und 30 Jahren bestimmt.
Die Untersuchungen wurden jeweils getrennt für das rechte und linke Ohr durchgeführt.
Die Hörschwelle für das Geräusch sollte am Audiometer bei der Einstellung von 0 dB HL liegen. Bei konstanter Ausgangslautstärke des Tonbandgerätes wurde mit Hilfe des Audiometers die Hörschwelle für das jeweilige Geräusch ermittelt. Der Zen-

tralwert der gemessenen Hörschwellen bei den einzelnen Geräuschen wurde errechnet. Die Ausgangslautstärke des Tonbandgerätes wurde den dadurch erhaltenen Ergebnissen entsprechend unter Benutzung eines Kupplers(("künstliches Ohr") - Precision Sound Level Meter Brüel and Kjær Type 2203) eingestellt.

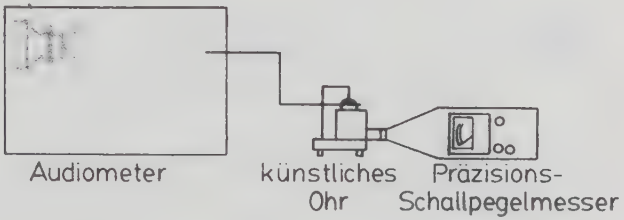

Abb. 14: Prüfung eines Audiometers nach BRUEL and KJAEUR Kopenhagen. Meßgeräte, 1967 (modifiziert nach HAHLBROCK, 1970)

4.1.2. Versuchsaufbau

Für die Versuche mußte eine Möglichkeit geschaffen werden, dasselbe Ohr sowohl mit dem Geräusch als auch mit Tönen zu beschallen. Die aufgenommenen Geräusche wurden dazu vom Tonband über einen Kanal des Audiometers auf den Kopfhörer gegeben, über den anderen Kanal wurden die Töne geleitet (Abb. 15).
Die Lautstärkeintensitätserhöhung war in 5 dB-Stufen möglich.

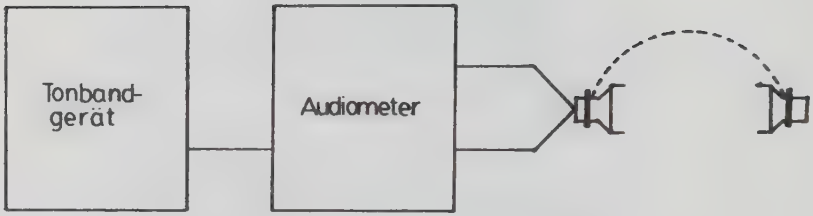

Abb. 15: Schaltung der Apparate

4.1.3. Auswertung der Meßergebnisse

Zentralwert

Bei wiederholtem Messen treten sowohl inter- als auch intra-individuelle Schwankungen auf. Um die verschiedenen Meßergebnisse zu mitteln, wurde bei den Versuchen jeweils der Zentralwert gebildet, der im Unterschied zum linearen wie zum quadratischen Mittelwert gegenüber nichtlinearer Transformation invariant ist. Die wahrscheinliche Schwankung ist das entsprechende Maß für die Abweichung der Versuchsergebnisse untereinander.

Zur Erstellung des Zentralwertes werden die Meßergebnisse ihrer Größe nach geordnet. Der Zentralwert ist nach ZWICKER (1967) charakterisiert als derjenige Wert, der genau in der Mitte zwischen einer gleichen Anzahl von über und unter ihm liegenden ermittelten Meßwerten liegt; die wahrscheinliche Schwankung umfaßt die beiden um den Zentralwert gelagerten Viertel aller Meßergebnisse. Dadurch gehen Extremwerte nicht in die Beurteilung mit ein. Die Abbildung 16 stellt diese Zusammenhänge für acht Meßwerte dar.

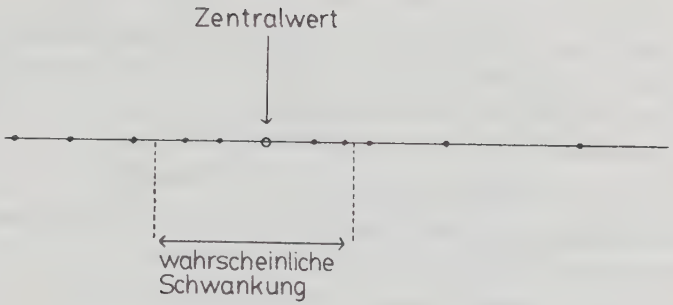

Abb. 16: Zentralwert und wahrscheinliche Schwankung

Pegelangaben

Die angegebenen Pegel kennzeichnen entweder den physikalischen Schalldruckpegel (SPL:sound pressure level) und sind auf den Schalldruck 2×10^{-4} µbar bezogen oder sie kennzeichnen den auf die normale (HL:hearing level) oder die individuelle pathologische (SL:sensation level) Hörschwelle bezogenen Pegel. Für Töne werden die Lautstärkepegel in SPL angegeben. Die Geräuschlautstärke wird bei normalhörenden Probanden in HL, bei Schwerhörigen in SL angegeben.

4.2. Versuchsdurchführung

Normalhörende und schwerhörende Versuchspersonen

Eine Versuchsperson wurde als normalhörend eingestuft, wenn die Hörschwelle bei keiner gemessenen Frequenz um mehr als 5 dB von der idealen Hörschwelle abwich. Es wurden bei den Versuchen 36 normalhörende Personen beiderlei Geschlechts zwischen 20 und 30 Jahren gemessen.

Es wurden nur Patienten mit Innenohrschwerhörigkeit untersucht, bei denen eine Schalleitungsschwerhörigkeit ausgeschlossen worden war.

Diese Patienten wurden in Gruppen eingeteilt:

1) Innenohrschwerhörigkeit vom basocochleären Typ

Die Hörschwellen der 24 Probanden wiesen einen Hochtonabfall oberhalb von 1 kHz auf. Bei 2 kHz war die Hörschwelle schlechter als 30 dB, bei 4 kHz schlechter als 40 dB. Bis 1 kHz war die Hörschwelle 25 dB oder besser (Abb. 17).

2) Innenohrschwerhörigkeit vom pancochleären Typ

Der Hörverlust dieser 24 Probanden lag im gesamten untersuchten Frequenzbereich zwischen 30 und 65 dB (Abb. 18).

3) Innenohrschwerhörigkeit vom apicocochleären Typ

Diese fünf Patienten wiesen im tiefen Frequenzbereich einen starken Hörverlust auf, ihre Hörschwellen mündeten im hohen Frequenzbereich (spätestens bei 4096 Hz) in die normale Hörschwelle ein.

Die durch Zentralwertbildung ermittelten Hörschwellen zeigen Abb. 17 und 18.

Da zu den Schwerhörigkeiten vom apicocochleären Typ nur Einzelfälle besprochen werden, sind die entsprechenden Kurven dort beschrieben.

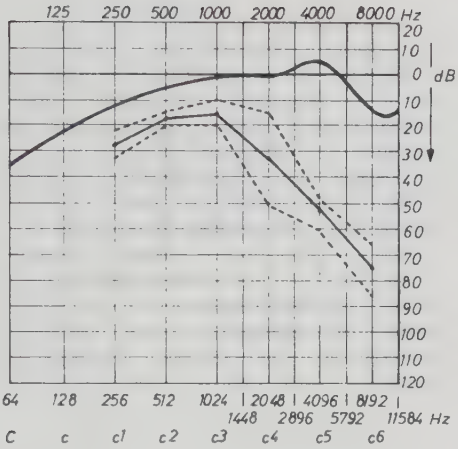

Abb. 17a: Hörschwelle der Hochtonschwerhörigen, die mit Verkehrslärm beschallt wurden

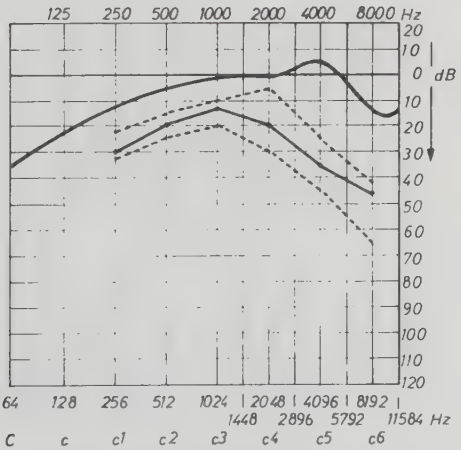

Abb. 17b: Hörschwelle der Hochtonschwerhörigen, die mit sprachsimulierendem Rauschen beschallt wurden

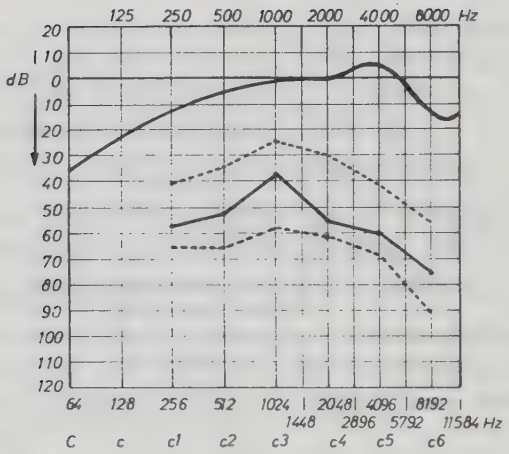

Abb. 18a: Hörschwelle der pancochleär Schwerhörigen, die mit Verkehrslärm beschallt wurden

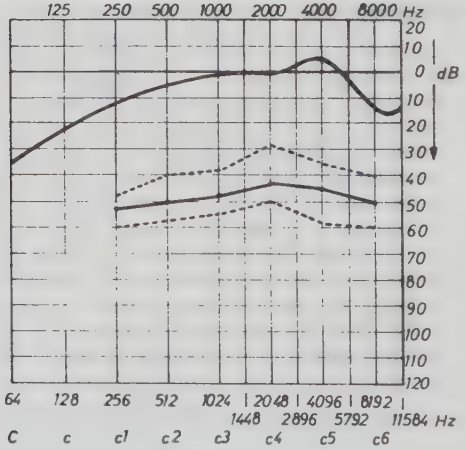

Abb. 18b: Hörschwelle der pancochleär Schwerhörigen, die mit sprachsimulierendem Rauschen beschallt wurden

Ausführung der Versuche zur Verdeckung von Tönen

Zunächst wurde bei jedem Probanden ohne vorherige Geräuschbelastung die Hörschwelle für die zu messenden Frequenzen (128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192 Hz) bestimmt. Dann wurde die Mithörschwelle derselben Töne ermittelt. Wir benutzten nach Bestimmung der Geräuschhörschwelle jedes Probanden zur Verdeckung sprachsimulierendes Rauschen und Straßenverkehrslärm bei den Lautstärken 40, 60 und 80 dB HL bzw. SL. Bei Normalhörenden wurde die Untersuchung auch mit impulshaltigem Lärm durchgeführt.

Nach jeder Mithörschwellenbestimmung wurde eine kurze Unterbrechungspause gemacht, um Gehörermüdungen zu vermeiden.

5. Vorversuche

Subjektive Charakteristik der Umweltgeräusche

Da mit der Frequenzanalyse allein die zeitlichen Komponenten der Verdeckungssignale wie Impulscharakter, Modulation der Amplitude über die Zeit etc. nicht ausreichend beurteilt werden können, wurden in einer Versuchsanordnung ähnlich der von BRAUNE und GRUBER (1973) zwölf Normalhörende mit den zwei überspielten Geräuschen und dem sprachsimulierenden Rauschen bei 60 dB HL beschallt und gebeten, auf einer fünfstufigen Skala von 1 = sehr ruhig bis 5 = sehr unruhig die Geräusche der Bewertungsskala zuzuordnen.

Die Einschätzung eines Geräusches wird beeinfluß durch
- das Frequenzspektrum (evtl. Anwesenheit von reinen Tönen)
- die Impulshaltigkeit des Geräusches
- die Stärke des Hintergrundgeräusches (im Prüfraum)
- Adaptation und
- psychosoziologische Faktoren, Zeit oder Tag (COMMER und RUDMOSE, 1967).

Die Ergebnisse der Vorversuche werden in der Tabelle 1 zusammengestellt.

	sehr ruhig ←				→ sehr unruhig
	1	2	3	4	5
Sprachsim. Rauschen	8	3	1		
Verkehrslärm	2	3	3	3	1
Impulshalt. Lärm			3	3	6

Tab. 1: Einschätzung der Geräusche durch Normalpersonen

Der Zentralwert der Ergebnisse wurde ermittelt:

	Zentralwert
Sprachsimulierendes Rauschen	1
Verkehrslärm	3
Impulshaltiger Lärm	4,5

Das sprachsimulierende Rauschen wurde als ruhig, der impulshaltige Lärm als unruhig empfunden. Zwischen diesen beiden Geräuschen lag auf der Bewertungsskala der Verkehrslärm.

6. Versuchsergebnisse

Für diese Experimente wurde die unter 4. beschriebene Versuchsanordnung verwendet. Die Untersuchungsergebnisse der verschiedenen Gruppen werden im folgenden dargestellt.

6.1. Normalhörende Probanden

Sprachsimulierendes Rauschen:

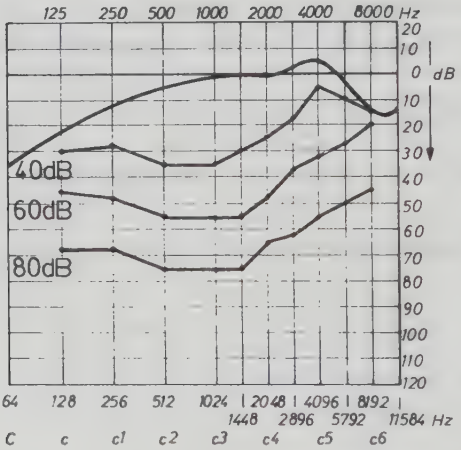

Abb. 19: Verdeckung von Tönen durch sprachsimulierendes Rauschen an normalhörenden Versuchspersonen

Die Hörschwelle mittelfrequenter Töne wird am stärksten zu höheren Intensitäten verschoben, die Hörschwellenverschiebung der hochfrequenten Töne ist am geringsten.

Straßenverkehrslärm:

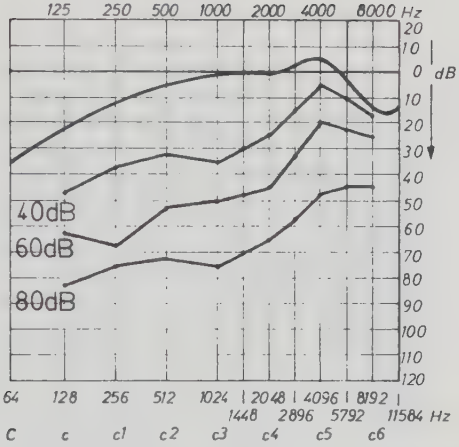

Abb. 20: Verdeckung von Tönen durch Straßenverkehrslärm an normalhörenden Versuchspersonen

Die Beeinflussung der Mithörschwellen ist zu den tiefen Frequenzen deutlich stärker als zu den hohen.

Impulshaltiger Lärm:

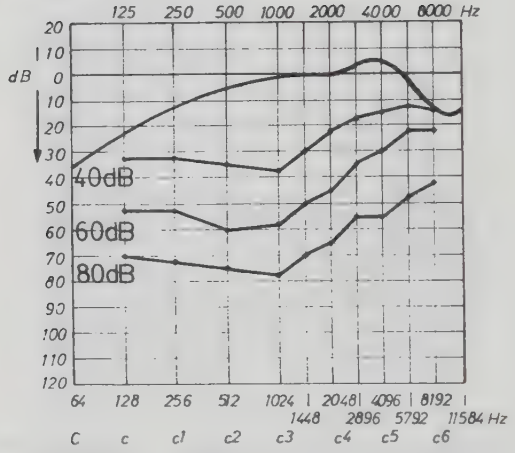

Abb. 21: Verdeckung von Tönen durch impulshaltigen Lärm an normalhörenden Versuchspersonen

Die Verschiebung der Mithörschwellen ist in den tiefen Frequenzen stärker als in den hohen aber schwächer als in den mittleren Frequenzen.

Bei allen Geräuschen ist mit Ansteigen der Verdeckungsintensität die Zunahme der Mithörschwelle über das ganze Frequenzspektrum fast linear.

6.2. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom basocochleären Typ

Sprachsimulierendes Rauschen:

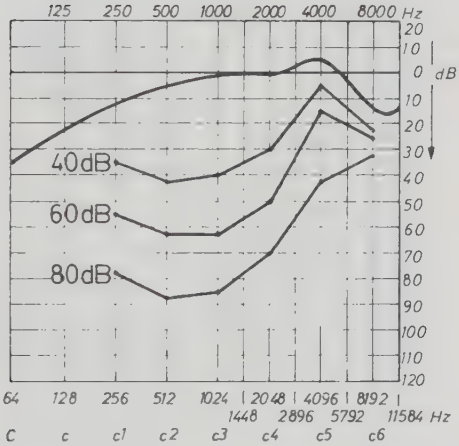

Abb. 22: Verdeckung von Tönen durch sprachsimulierendes Rauschen bei basocochleär Schwerhörigen

Die stärkste Beeinflussung der Mithörschwelle liegt bei 1024 Hz, die geringste bei 8192 Hz. Die Geräuschintensität verliert zu den hohen Frequenzen an Bedeutung für die Verdeckung.

Verkehrslärm:

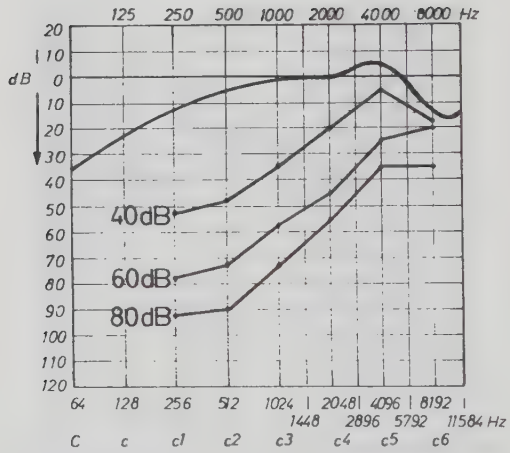

Abb. 23: Verdeckung von Tönen durch Straßenverkehrslärm bei basocochleär Schwerhörigen

Die tiefen Frequenzen werden stark beeinflußt, ab 1500 Hz werden die Töne durch das Rauschen weniger stark verdeckt.

6.3. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom pancochleären Typ

Am Audiometer konnten nur Lautstärken bis 100 dB HL eingestellt werden. Deshalb wurden bei den pancochleär schwerhörigen Probanden nur die Prüfungen bei 40 und 60 dB einer statistischen Analyse unterzogen (Abb. 24 und 26).

Zu den Verdeckungsmessungen mit 80 dB SL werden nur Einzelbeispiele beschrieben (Abb. 25 und 27), denn die Untersuchung konnte nur bei wenigen (insgesamt 15) Patienten durchgeführt werden.

Sprachsimulierendes Rauschen:

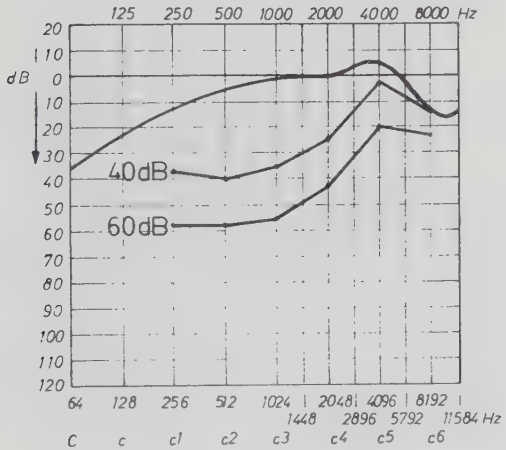

Abb. 24: Verdeckung von Tönen durch sprachsimulierendes Rauschen an pancochleär Schwerhörigen

Die Mithörschwellenkurven bei unterschiedlichen Geräuschintensitäten laufen bis 1000 Hz parallel und konvergieren von 2000 Hz zu höheren Frequenzen. Bei 1000 Hz ist die Beeinflussung durch das Geräusch am stärksten.

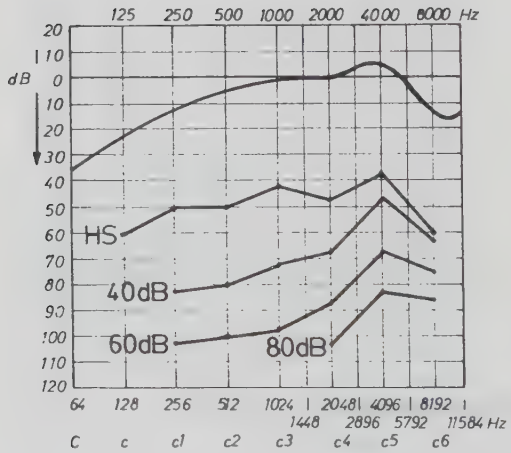

Abb. 25: Einzelbeispiel zur Verdeckung von Tönen durch sprachsimulierendes Rauschen (pancochleär Schwerhöriger)
HS: Hörschwelle

Verkehrslärm:

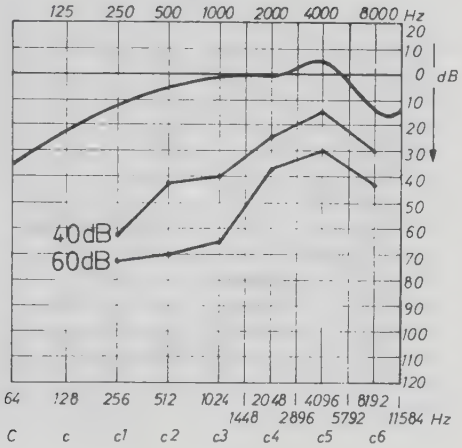

Abb. 26: Verdeckung von Tönen durch Straßenverkehrslärm an pancochleär Schwerhörigen

Die Erhöhung der Lautstärke des verdeckenden Geräusches hatte nur bei 250 bis 1000 Hz einen großen Einfluß, bei den anderen Frequenzen wirkte sie sich weniger stark aus. Unabhängig von der Geräuschintensität ist bei 250 bis 1000 Hz die Beeinflussung am ausgeprägtesten.

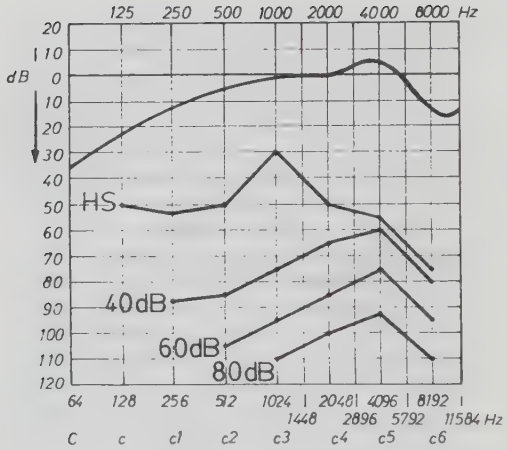

Abb. 27: Einzelbeispiel zur Verdeckung von Tönen durch Straßenverkehrslärm (pancochleär Schwerhöriger)

6.4. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom apicochleären Typ

Es können nur Einzelfälle besprochen werden, da wegen der geringen Anzahl apicocochleärer Schwerhörigkeiten nur vier Personen für unsere Untersuchungen mit Verkehrslärm und nur eine Person für die Untersuchung mit sprachsimulierendem Rauschen geprüft werden konnten. Ein typisches Beispiel für jedes Geräusch wird in den Abbildungen 28 und 29 gezeigt.

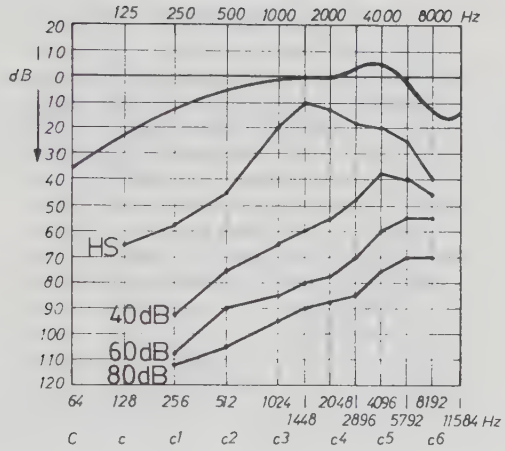

Abb. 28: Mithörschwellen eines Probanden mit Baßschwerhörigkeit bei Beschallung mit Straßenverkehrslärm

Als übereinstimmend für die Verdeckungsmessungen mit Verkehrslärm an den vier geprüften Probanden läßt sich festhalten: Die Mithörschwellen verschieben sich bei steigender Geräuschbelastung annähernd parallel. Die Mithörschwellen von 1000 und 2000 Hz werden am stärksten durch das Geräusch gestört. Die Mithörschwellen im oberen Frequenzbereich werden weniger durch das Geräusch beeinflußt als die im unteren Frequenzbereich.

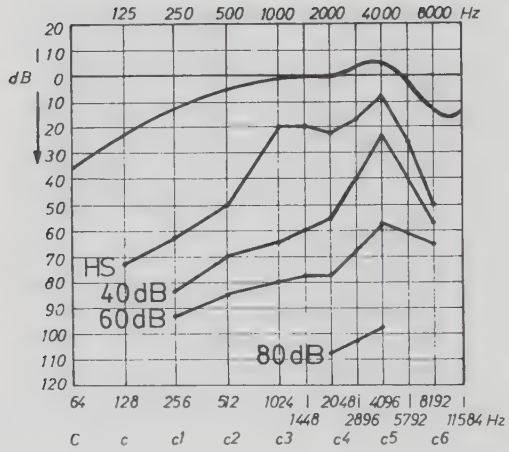

Abb. 29: Mithörschwellen eines Probanden mit Baßschwerhörigkeit bei Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen

Im Vergleich zu dem Beispiel der Verdeckungsmessung mit Straßenverkehrslärm werden bei Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen die tiefen Frequenzen weniger stark beeinflußt.

7. Diskussion

1) Vergleich der Untersuchungen an normalhörenden und hörgeschädigten Probanden

Es zeigt sich, daß im Bereich von 500 - 2000 Hz die Verdeckung durch alle drei Geräusche fast gleich stark ist (Abb. 30).
Nur im unteren Frequenzbereich (250 Hz) dominiert die Verdeckung durch Verkehrslärm gegenüber der durch die beiden anderen Störschalle, die die Mithörschwelle sehr ähnlich beeinflussen.

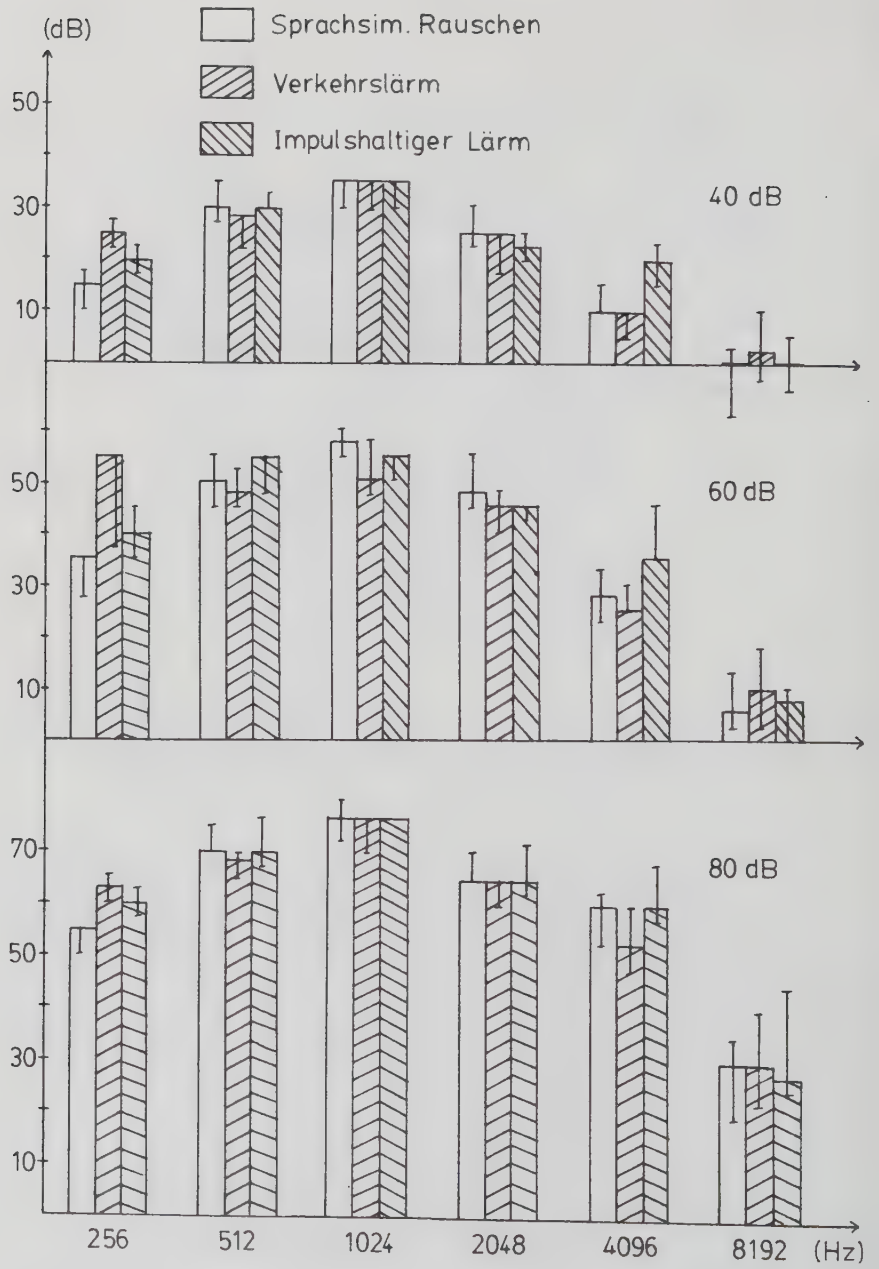

Abb. 30: Mithörschwellen normalhörender Probanden

Abbildung 31 zeigt bei Normalhörenden den Einfluß der Intensität des sprachsimulierenden Rauschens auf die Mithörschwelle, Abbildung 32 die entsprechenden Ergebnisse bei Verdeckung durch Straßenverkehrslärm.

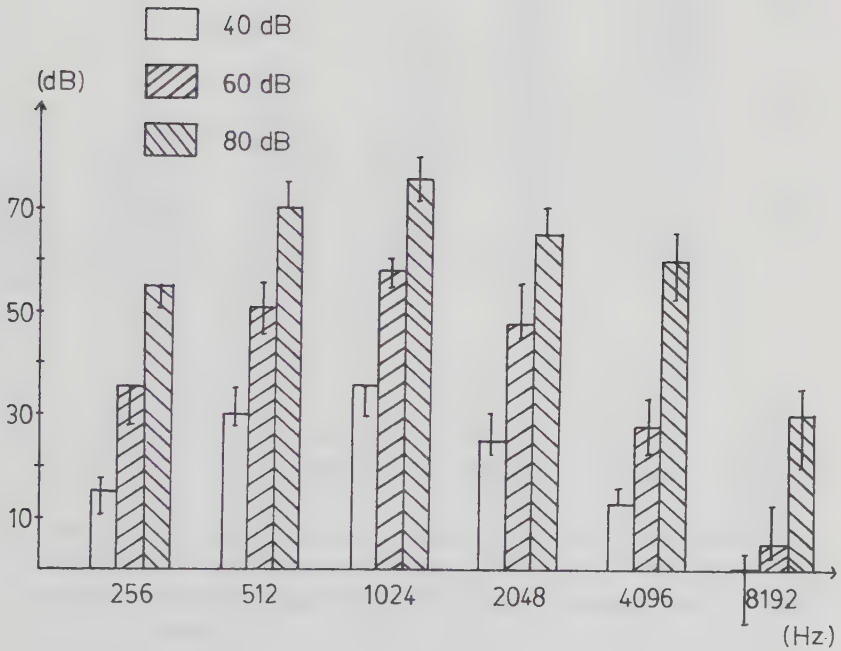

Abb. 31: Mithörschwellen normalhörender Probanden bei Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen

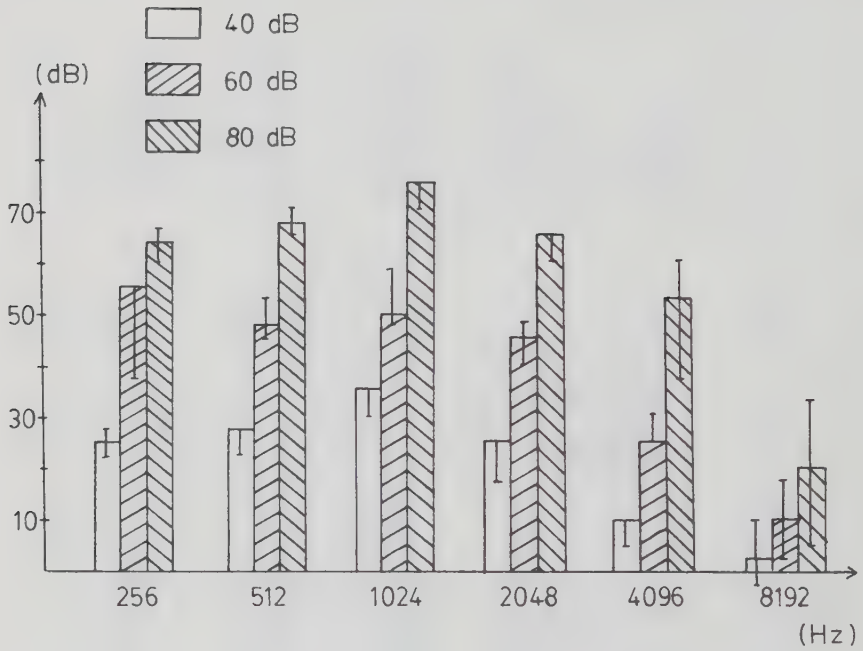

Abb. 32: Mithörschwellen normalhörender Probanden bei Beschallung mit Straßenverkehrslärm

In beiden Abbildungen ist zu erkennen, daß mit zunehmenden Verdeckungspegeln im gesamten Frequenzbereich die Mithörschwelle fast linear zunimmt, und daß im Maximum der Verdeckung die Intensität des Prüftones 5 dB unter der des verdeckenden Schalles liegt.

Untersucht man den unterschiedlichen Einfluß der Intensität des verdeckenden Geräusches auf die Mithörschwelle von Patienten mit cochleärem Hochtonverlust, so zeigt sich (Abb. 33 und 34), daß die Mithörschwelle bei 1000 Hz durch die steigende Intensität des sprachsimulierenden Rauschens am meisten beeinflußt wird. Bei beiden Geräuschen ist die Mithörschwelle des am stärksten verdeckten Tones 5 dB über der Lautstärke des verdeckenden Geräusches.

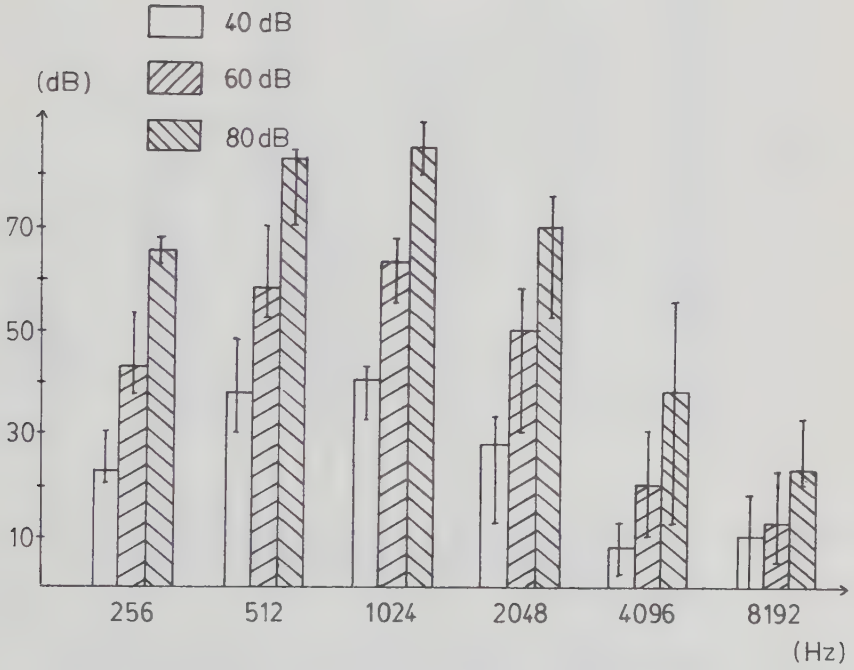

Abb. 33: Mithörschwelle von Patienten mit cochleärem Hochtonverlust bei Beschallung durch sprachsimulierendes Rauschen

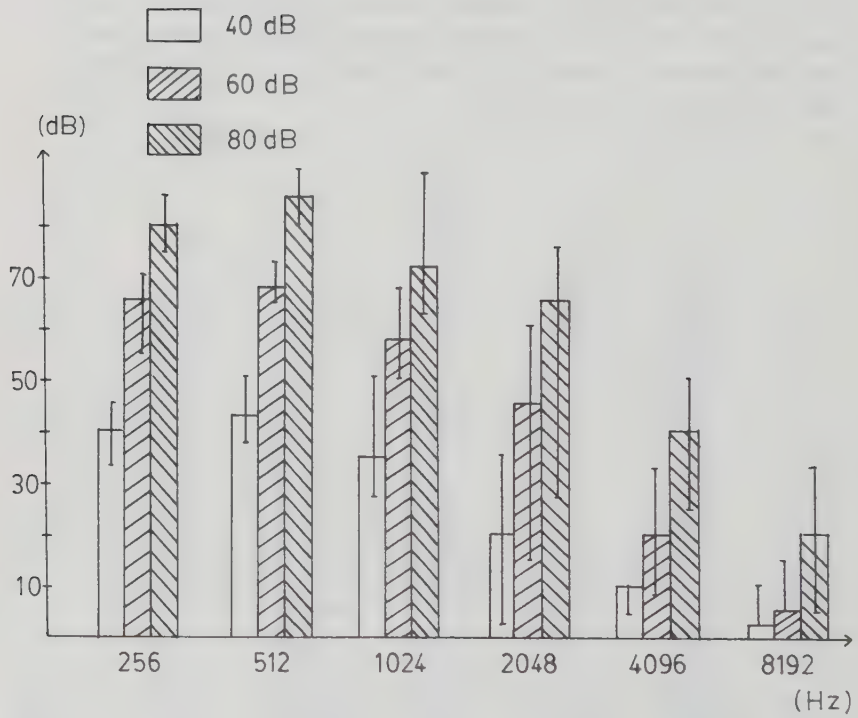

Abb. 34: Mithörschwelle von Patienten mit cochleärem Hochtonverlust bei Beschallung durch Straßenverkehrslärm

In der Gegenüberstellung von Normalhörenden und Patienten mit Hochtonabfall (Abb. 35) erkennt man in den Verdeckungskurven mit sprachsimulierendem Rauschen bei den Schwerhörigen eine ungünstigere Mithörschwelle im Frequenzbereich bis 2000 Hz. Bei höheren Frequenzen zeigt sich ein eher umgekehrtes Verhalten.

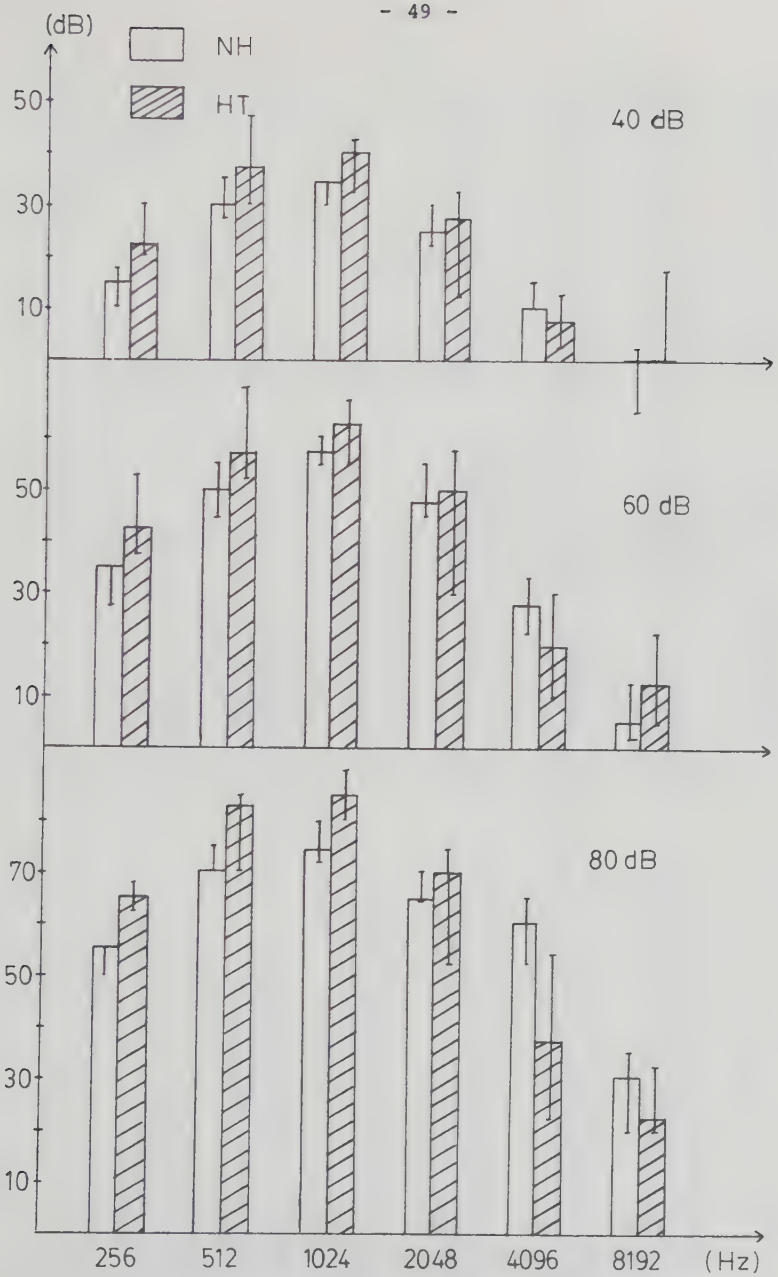

Abb. 35: Mithörschwelle bei Beschallung durch sprachsimulierendes Rauschen. NH:Normalhörende; HT:Hochtonschwerhörige

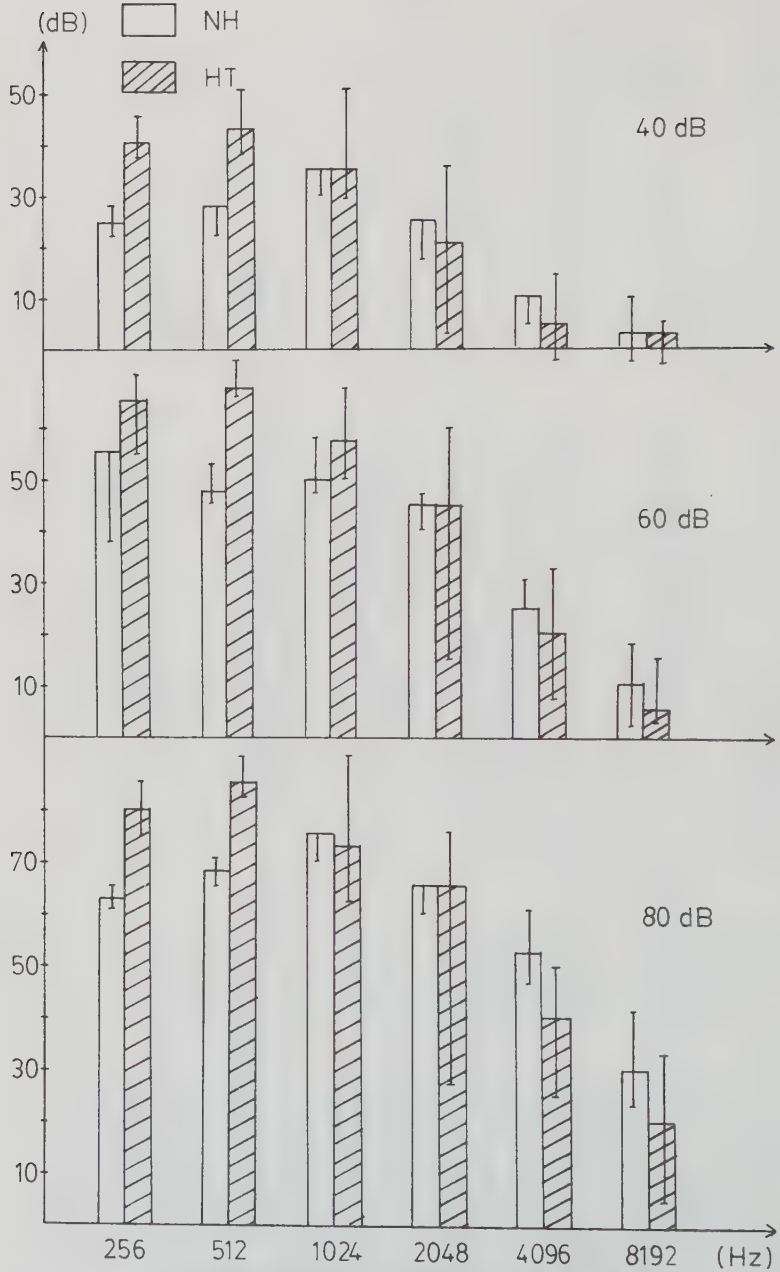

Abb. 36: Mithörschwelle bei Beschallung durch Straßenverkehrslärm

In den Verdeckungskurven mit Straßenverkehrslärm (Abb. 36) sind im Bereich des Hochtonabfalls für die Normalhörenden höhere Prüftonintensitäten notwendig, in den tiefen Frequenzen ist die Beeinträchtigung der Schwerhörigen deutlich stärker.

Während bei Normalpersonen das Maximum der Verdeckung bei 1000 Hz liegt, findet man bei Hochtonschwerhörigen eine Verschiebung in den Frequenzbereich um 500 Hz.
Bei beiden Geräuschen liegt die Lautstärke des Prüftons im Maximum der Verdeckung bei Normalhörenden unter der Lautstärke des Störgeräusches, bei Patienten darüber.

Untersucht man den Unterschied des Verdeckungseinflusses von sprachsimulierendem Rauschen und Straßenverkehrslärm auf pancochleär Hörgeschädigte (Abb. 24 und 26), zeigt sich im mittleren Frequenzbereich mit beiden Geräuschen eine gleichartige Verdeckung, während bei tiefen Frequenzen durch den Verkehrslärm eine erheblich stärkere Beeinflussung der Mithörschwelle festzustellen ist.

Im Vergleich mit Normalpersonen werden pancochleär Hörgeschädigte durch den Verkehrslärm in den tiefen Frequenzen stärker beeinträchtigt (Abb. 37), während sprachsimulierendes Rauschen den gleichen Einfluß hat wie bei Hörgesunden (Abb. 38).

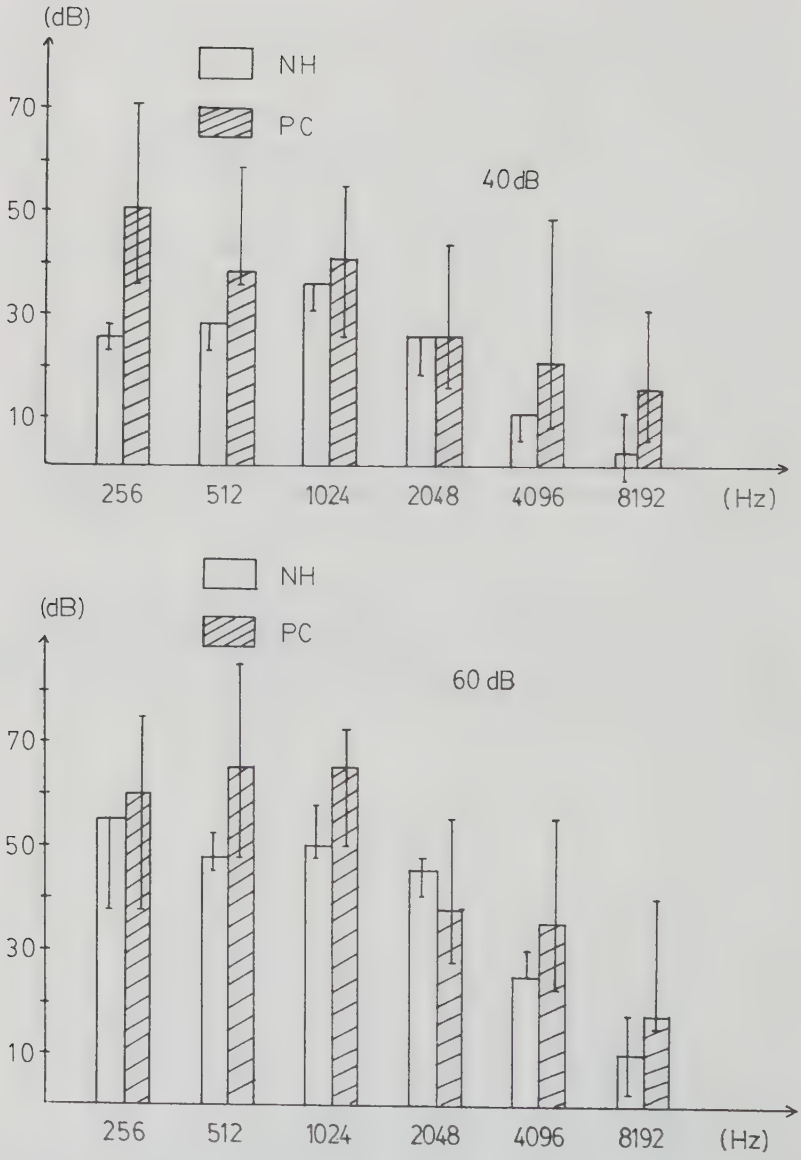

Abb. 37: Mithörschwelle bei Beschallung durch Straßenverkehrslärm. NH:Normalhörende; PC:pancochleär Schwerhörige

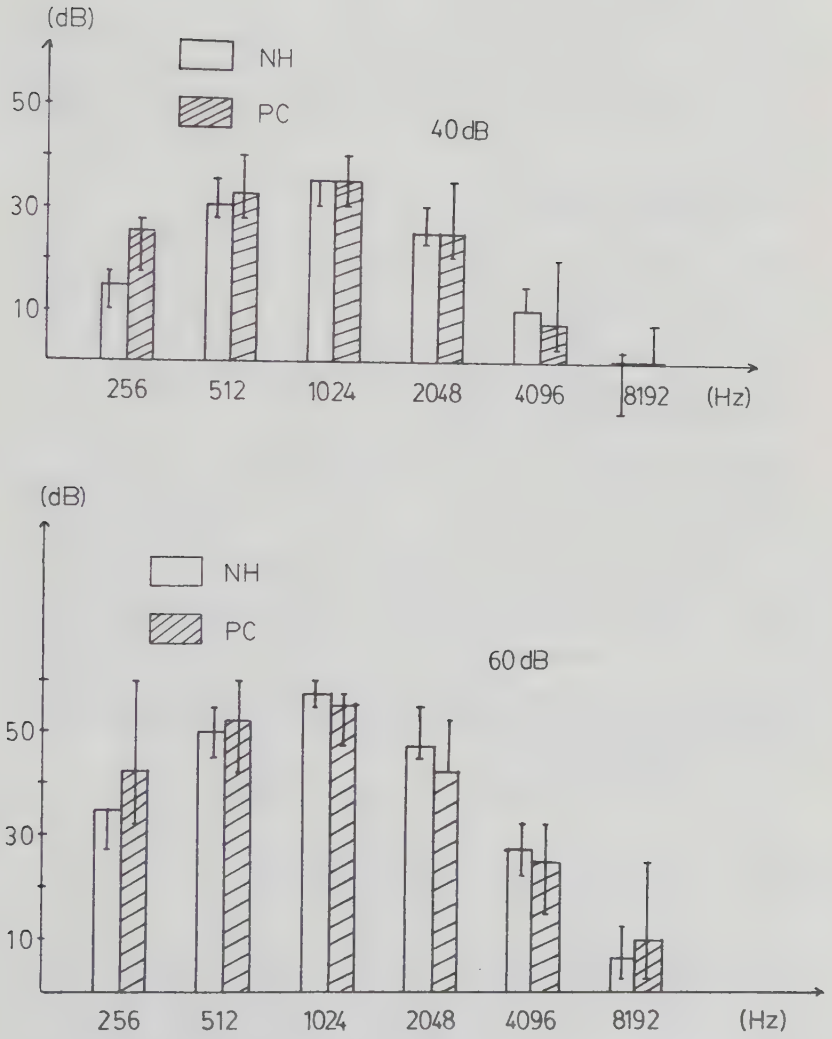

Abb. 38: Mithörschwelle bei Beschallung durch sprachsimulierendes Rauschen

Bei Baßschwerhörigen zeigt sich durch den Straßenverkehrslärm bei den tiefen Frequenzen eine stärkere Verdeckung als durch sprachsimulierendes Rauschen.

Bei den Frequenzen bis 1000 Hz werden im Vergleich zu Normalhörenden die Mithörschwellen der Baßschwerhörigen bei Belastung mit Straßenverkehrslärm ähnlich beeinflußt, Testtöne oberhalb von 1000 Hz werden bei den Schwerhörigen stärker verdeckt. Beim sprachsimulierenden Rauschen ist das Verdeckungsverhalten der beiden Probandengruppen sehr ähnlich.

Diese Untersuchungsergebnisse bestätigen, daß die Verdeckungswirkung in erster Linie vom Spektrum des Geräusches abhängig ist. Die Verdeckungswirkung ist danach im Bereich der Hauptenergieschwerpunkte des verdeckenden Geräusches am größten. Der Maskierungseffekt wird außerdem durch den Typ der Innenohrschwerhörigkeit beeinflußt.

Gegenüber Normalhörenden werden die Hörschwellen bei Patienten mit Hochtonabfällen im unteren Frequenzbereich durch das Geräusch stärker verschoben. Bei pancochleär Schwerhörigen ist der Verdeckungseinfluß des Verkehrslärms auf die Hörschwelle ähnlich dem bei Hochtonschwerhörigen; die Mithörschwellenänderung durch sprachsimulierendes Rauschen ist ähnlich wie bei Normalhörenden. Bei Baßschwerhörigen zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung mit den Normalhörenden bei beiden Geräuschen bis auf die stärkere Beeinflussung durch Straßenverkehrslärm zu den hohen Frequenzen.

2) Vergleich der Ergebnisse mit Untersuchungen in der Literatur

Das Verdeckungsverhalten breitbandiger Geräusche (weißes Rauschen und gleichmäßig verdeckendes Rauschen, siehe Abschnitt 3) ist über das gesamte Frequenzspektrum relativ konstant (ZWICKER, 1967).
Das gleichmäßig verdeckende Rauschen ist ein dem Ohr angepaßtes Geräusch - es resultiert ein horizontaler Verlauf der Mithörschwellen von Tönen über das Hörfeld. Das weiße

Rauschen mit frequenzabhängiger Schallintensitätsdichte - nicht auf die Frequenzgruppen des Ohres abgestimmt - zeigt den Verlauf nicht mehr. Erst recht entsprechen die der Umwelt entnommenen Geräusche mit sehr unterschiedlichen Intensitätsdichtepegeln in verschiedenen Frequenzbereichen nicht den Frequenzgruppen des Ohres, so daß ein annähernd horizontaler Kurvenverlauf gar nicht zu erwarten ist.

Die Form der Mithörschwellen vom schmalbandigen Rauschen in ZWICKERS Untersuchungen ist nur durch das Gehör bestimmt (ZWICKER, 1967). Bedingung dafür ist eine Flankensteilheit von mindestens 17 dB je 100 Hz. Bei den Umweltgeräuschen besteht keine starke Flankendämpfung, die Mithörschwelle wird also durch das Spektrum des Geräusches bestimmt.

Die untersuchten Umweltgeräusche haben ihren Energieschwerpunkt in den tiefen Frequenzen, so daß man eine Ähnlichkeit des Verlaufs der Mithörschwellenkurven mit Tiefpaßrauschen erwarten könnte.
Tatsächlich beeinflussen unsere Geräusche die Mithörschwelle bei tiefen Frequenzen am stärksten, da sie aber nicht die Flankensteilheit des Tiefpaßrauschens haben, sondern auch Frequenzen bis 3000 Hz und höher enthalten, ergibt sich auch ein völlig anderer Verlauf der Mithörschwellen.

OPITZ (1973) beobachtete an Hörgeschädigten bis zum Einmünden der Mithörschwelle bei Verdeckung mit Schmalbandrauschen in die pathologische Hörschwelle einen gleichen Kurvenverlauf wie bei Normalhörenden. Da die Form der Mithörschwellen bei Umweltgeräuschen hauptsächlich durch den Charakter des Geräusches bestimmt wird, wurde dieser Kurvenverlauf hier nicht gefunden.

In Abschnitt 7 Seite 46 wird beschrieben, daß bei den Geräuschen unserer Untersuchung die Intensität des Prüftons im Maximum der Verdeckung bei Normalhörenden 5 dB unter der Intensität des verdeckenden Schalles liegt. ZWICKER (1967) und OPITZ (1973) hatten bei Verdeckungsuntersuchungen an Normalhörenden mit Schmalbandrauschen (siehe Abschnitt 3) ein sehr

ähnliches Ergebnis erhalten: Die Mithörschwelle lag 4 dB unter der Störschallautstärke. Wie bei diesen Untersuchungen liegt dieses Verhalten auch bei den in der Arbeit beschriebenen Experimenten an der prinzipiellen Fähigkeit des Gehörs, Töne aus einem Geräusch herauszuhören. Bei den Umweltgeräuschen stellt die Ungleichförmigkeit des Geräusches einen zusätzlichen Faktor zur Verbesserung der Tonerkennung dar.

Mit steigender Intensität fand sich bei den Geräuschen dieser Untersuchung nie eine Verschiebung des Verdeckungsmaximums zu anderen Frequenzen. ZWISLOCKI (1970) und VOGTEN (1974) beschrieben bei anderen verdeckenden Schallen eine Frequenzänderung des Maximums mit Änderung der Störschallautstärke.

Wir bemerkten bei der Bestimmung der Hörschwellen für Töne und Umweltgeräusche, daß die geschädigten Ohren (insbesondere bei Patienten mit pancochleärem Hörverlust) eine niedrigere Schwelle für die Geräusche als für einzelne Sinustöne haben. KEIDEL (1975) beschreibt das gleiche Phänomen für Breitbandrauschen.

8. Untersuchungen zur Verdeckung von Sprache

Für die Kommunikation des Menschen mit seiner Umwelt ist nicht das Erkennen von Tönen, Klängen und Geräuschen, sondern insbesondere das Verarbeiten und das Verstehen der Sprache von grosser Bedeutung. So ist es neben Mithörschwellenmessungen von Tönen etc. mindestens ebenso wichtig, die Sprachverständlichkeit unter Störsignaleinfluß zu untersuchen.

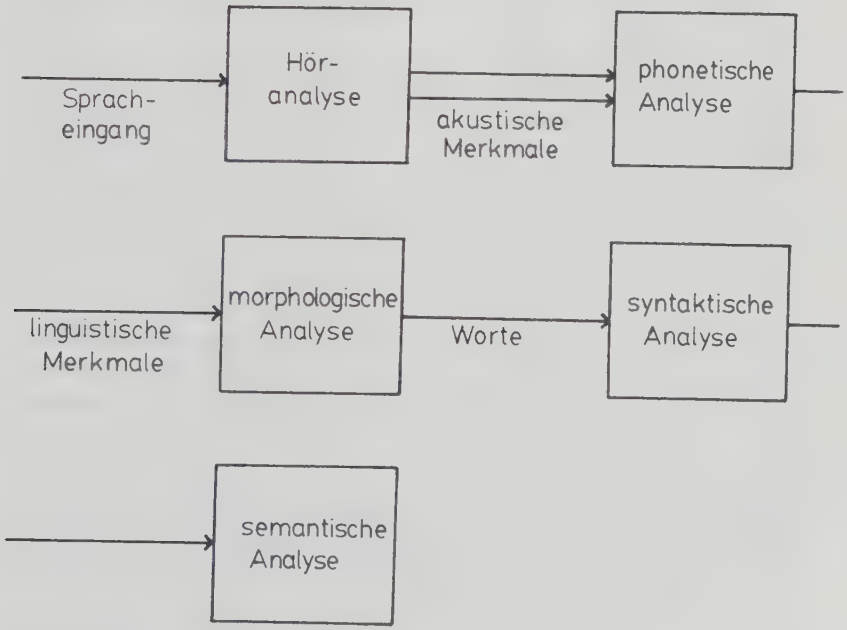

Abb. 39: Modifiziertes Schema nach FLANAGAN (1972)

Bei der Sprachprüfung werden im Gegensatz zu einer Tonprüfung assoziative Zentren mitgereizt. Ein hierarchisches Modell der Stationen des Ablaufs beim Sprachverstehen, das allerdings nur rudimentäre Aspekte wiedergeben kann, findet sich in der Arbeit von FLANAGAN (1972).

Nach AINSWORTH (1976) sind im Cortex viele Neurone angesiedelt, die für Merkmale der Geräusche empfänglich sind und dazu geeignet sind, eine Klassifikation von Sprachsignalen durchzuführen.

Bei Sprachverdeckungsuntersuchungen mit unterschiedlichen Geräuschen fanden CALEARO et al. (1959) einen stärkeren Maskierungseffekt durch tieffrequentes Rauschen als durch hochfrequentes Rauschen.

Auch nach Untersuchungen von MAITRE et al. (1973) ist der Maskierungseffekt der einzelnen Frequenzabschnitte eine variable Funktion der Tonhöhe. Eine Beeinträchtigung des Sprachverständnisses beginnt für alle Geräusche bei einem Wert des Signalrauschabstandes von ungefähr 25 dB, wobei der Signalrauschabstand (signal to noise ratio = SNR) als Lautstärkedifferenz zwischen Sprache und Geräusch definiert ist. Mit zunehmender Störschallautstärke wächst der Verdeckungseinfluß und zwar ist die Progression der Verdeckung bei tieffrequentem Lärm größer als bei hochfrequentem. Beide Male jedoch ist die Funktion, die die Abhängigkeit der Verdeckung von der Intensität des Lärms zeigt, eine Exponentialfunktion.

Im Gegensatz dazu hält COOPER (1971) die Beziehung zwischen Diskriminationsvermögen und SNR für nahezu linear, was auch HAWKINS und STEVENS (1950) für weißes Rauschen bei Intensitäten, die größer als 40 dB sind, beobachtet haben.

O'NEILL (1975) berichtet über verschiedene Arbeiten, die sich mit der Bedeutung von Lautstärke und Charakter des Störschalles auf das Sprachverständnis beschäftigen. Hohe Intensitäten von Sprache und Lärm (Flugzeuglärm und weißes Rauschen) wirken sich nachteilig auf die Sprachverständlichkeit Normalhörender aus, und zwar ist der Einfluß weißen Rauschens stärker als der von

Flugzeuglärm. Tieffrequente Geräusche verdecken bei niedrigen Intensitäten Sprache weniger stark als hochfrequente. Der Einfluß auf die Sprachdiskrimination bei hohen Intensitäten ist durch hochfrequente Geräusche schwächer.
O'NEILL beschreibt weiter eine Untersuchung von KEITH und TALLIS (1972) zum Einfluß von weißem Rauschen auf die Sprachverständlichkeit von Normalhörenden. Es ergab sich beim SNR von + 8 dB eine 92 %ige, bei O dB SNR eine 61,6 %ige und bei - 8 dB SNR eine 47,2 %ige Sprachverständlichkeit.

CARHART et al. (1966) fanden im Vergleich zu gleichmäßig verdeckendem Rauschen einen verbesserten SNR bei moduliertem weißen Rauschen.
In einer Verdeckungsuntersuchung mit sprachsimulierendem Rauschen berichtet von WEDEL (1977) über eine 40 %ige Verständlichkeit bei einem SNR von - 5 dB.

OPITZ (1973) beschreibt, daß unter der Voraussetzung eines intakten mechanischen Innenohrs zur Auslösung von Reizantworten beim Innenohrschwerhörigen größere Ausbauchungen der Basilarmembran nötig sind. Sowohl die frequenzabhängigen mechanischen Verdeckungsphänomene als auch der jeweilige Hörverlust bestimmen das Verdeckungsmuster im pathologischen Hörfeld.

Im freien Schallfeld untersuchte SCHULZ-COULON (1973) zur Verständlichkeit von Sätzen an Normalhörenden und Patienten mit basocochleärer Schwerhörigkeit die Beeinträchtigung des Satzverständnisses durch ein tieffrequentes Störgeräusch. Bei den Normalhörenden zeigte sich erst bei Störschallpegeln, die 10 dB über der Sprachlautstärke lagen, eine Beeinträchtigung. Bei den schwerhörenden Patienten beeinträchtigte das Störgeräusch das Verständnis umso mehr, je ausgeprägter der Hochtonverlust war. Es ergaben sich jedoch starke Streuungen durch zusätzliches Recruitment, durch Ohrensausen, Konzentrationsfähigkeit, Intelligenz, Affektlage etc.
Im Vergleich zu den Normalhörenden haben Patienten mit Hochtonverlust, der bereits unterhalb von 2000 Hz beginnt, eine stärkere Behinderung in der Kommunikation durch das tieffrequente

Störgeräusch; dies erklärt SCHULTZ-COULON damit, daß das Umweltgeräusch die tiefen Frequenzen verdeckt, durch den Hörverlust die hohen Frequenzen nicht gehört werden können und dadurch nur "wenig Höreinheiten" für die Sprachanalyse frei sind (SCHULTZ-COULON, 1973).

MACRAE und BRIDGEN (1973) beobachteten, daß auch Hochtonpatienten, bei denen die Hörschwelle nur oberhalb von 2000 Hz verschlechtert ist, durch manche Geräusche in Hinblick auf die Sprachverständlichkeit gegenüber Normalhörenden benachteiligt sind.

OLSEN, NOFFSINGER und KURDZIEL (1975) untersuchten beim SNR von 0 dB die Verständlichkeit von 40 dB lauter Sprache. Sie wurde bei Normalhörenden, Personen mit Hochtonsenken bis 25 dB und an Morbus Menière Erkrankten mit weißem Rauschen verdeckt. Das Sprachverständnis zeigte bei 0 dB SNR bei Normalhörenden eine Verschlechterung um ca. 24 % (6 - 44 %), bei Patienten mit Hochtonsenke eine Verschlechterung um 25 %, bei Baßschwerhörigen eine Verschlechterung um 41 %. Verschlechterungen um 40 % und mehr bei gleichzeitiger Störschallgabe zeigten weniger als 1 % der Normalhörenden, 8 % der Patienten mit Hochtonsenken und 48 % der Menièrekranken. Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen nach OLSEN et al. die Ergebnisse anderer Untersucher (ROSS et al., 1965; KEITH und TALLIS, 1972), die herausfanden, daß die Sprachverständlichkeit im Lärm stärker durch Hörverluste in tiefen Frequenzen beeinträchtigt wird als durch Verluste in hohen Frequenzen.

COHEN und KEITH (1976) berichteten im Vergleich Normalhörender mit basocochleär Schwerhörigen von einer um 60 - 70 % schlechteren Sprachdiskrimination der Hochtonschwerhörigen in Gegenwart eines 500 Hz-Tiefpaßrauschens, auch wenn das Wortverständnis in Ruhe gleich ist.

In Untersuchungen von KEITH und TALLIS (1972) über die Streubreite der Ergebnisse aus Untersuchungen zur Sprachverständlichkeit bei gleichzeitiger Geräuschgabe zeigte sich, daß in der Gruppe der Normalhörenden, noch stärker in der Gruppe der Hochtonpatienten, mit wachsender Verdeckungsintensität die Streubreite wächst.

Mit kleiner werdendem SNR stellten COOPER und CUTTS (1971) ein Anwachsen der Streubreite bei Normalhörenden und sensorineural Hörgeschädigten fest. Sie fanden außerdem bei den Hörgeschädigten stets eine größere Standardabweichung als bei Normalhörenden.

In der Literatur sind hauptsächlich Untersuchungen zum Störeinfluß von synthetisierten Geräuschen auf die Sprachdiskrimination beschrieben, die folgenden Untersuchungen beschäftigen sich mit dem Einfluß von Geräuschen aus der Umwelt auf die Sprachverständlichkeit.

9. Versuchsaufbau zur Verdeckung von Sprache durch Geräusche

9.1. Meßapparatur und Versuchsanordnung

Geräusche

Die Untersuchungen wurden mit den Originalgeräuschen (siehe Abschnitt 4.1.1.) vorgenommen; es wurden dabei Geräuschphasen verwandt, die in ihren Lautstärkeschwankungen möglichst gering waren (Abb. 40 und 41).

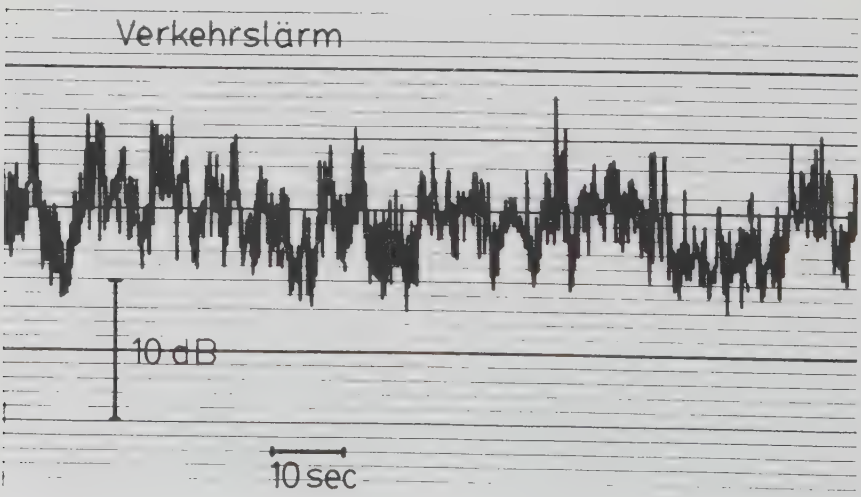

Abb. 40: Lautstärkeschwankungen des Originalgeräusches (Straßenverkehrslärm)

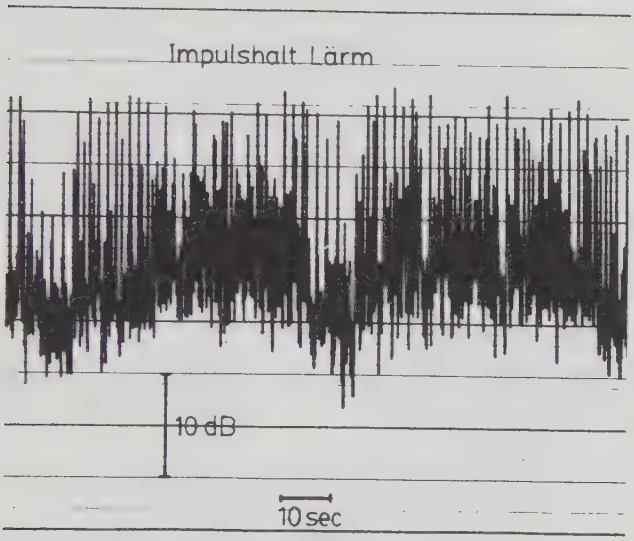

Abb. 41: Lautstärkeschwankungen des Originalgeräusches (impulshaltiger Lärm)

Die Frequenzanalyse und die Eichung der Geräusche wurden bereits unter 4.1.1. beschrieben.

Bei den schwerhörigen Probanden wurden die Originalaufnahmen vom Straßenverkehrslärm und dem impulshaltigen Lärm verwandt, bei den normalhörenden Probanden außerdem das sprachsimulierende Rauschen.

Sprache

Es wurde der Sprachtest für einsilbige Wörter nach DIN 45621 (Freiburger Sprachtest) durchgeführt.
Zur Eichung der Lautstärke wurde an zwölf normalhörenden Probanden zunächst die Hörschwelle für das Eichrauschen des Sprach-

testes bestimmt. Anschließend wurde die Ausgangslautstärke des Tonbandgerätes den erhaltenen Werten entsprechend eingestellt, wobei das gleiche Verfahren angewandt wurde wie bei der Eichung der Lautstärke der Umweltgeräusche (Abschnitt 4.1.1.).

Schaltung der Apparate

Sprache und Geräusch wurden vom Tonband über Audiometer und Kopfhörer auf ein Ohr des Probanden gegeben.

9.2. Auswertungsschema

Zum Mitteln der Meßergebnisse benutzten wir auch hier Zentralwert und wahrscheinliche Schwankung.
Für die Pegelangaben der Geräusche gelten die unter 4.1.3. gemachten Angaben. Die Sprachlautstärkepegel werden in hearing level (HL) angegeben.

9.3. Versuchsdurchführung

Normalpersonen und schwerhörende Versuchspersonen

Die Untersuchungen wurden an 36 normalhörenden Probanden und 24 Personen mit Schwerhörigkeiten vom basocochleären Typ durchgeführt. Außerdem wurde pro Untersuchung ein Proband mit Innenohrschwerhörigkeit vom apicocochleären Typ untersucht.
Die Auswahl und Einteilung der Hörgruppen erfolgte wie unter 4.2. beschrieben.
Nach Zentralwertbildung ergaben sich die in Abbildung 42 und 43 gezeigten Hörschwellen.

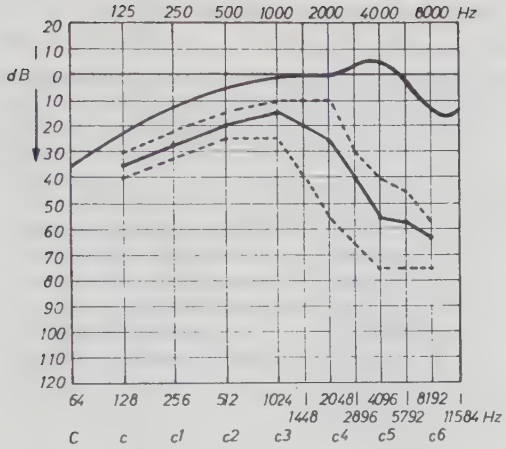

Abb. 42: Hörschwelle der Patienten mit Schwerhörigkeit vom basocochleären Typ, bei denen der Sprachtest mit Verkehrslärm durchgeführt wurde.

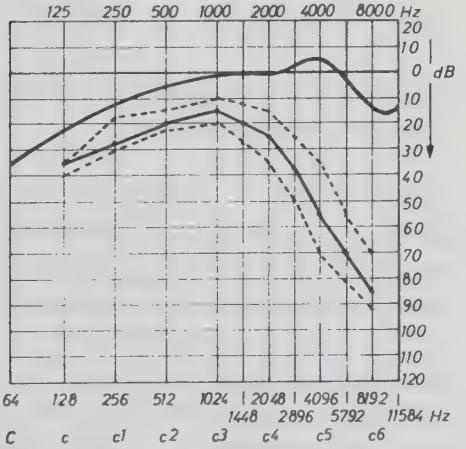

Abb. 43: Hörschwelle der Patienten mit Schwerhörigkeit vom basocochleären Typ, bei denen der Sprachtest mit impulshaltigem Lärm durchgeführt wurde.

Der Hörschwellenverlust der Hochtonpatienten betrug ab 1000 Hz etwa 20 dB pro Oktave.

Die Hörschwelle des Patienten mit Schwerhörigkeit vom apicocochleären Typ zeigt die Abbildung 44.

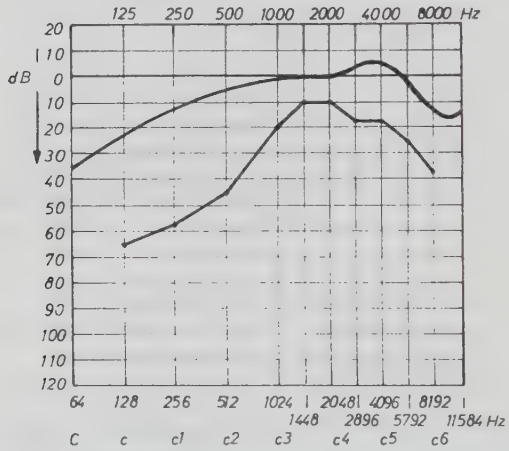

Abb. 44: Hörschwelle des Patienten mit Schwerhörigkeit vom apicocochleären Typ

Ausführung der Versuche zur Verdeckung von Sprache

Der Tabelle im Sprachaudiogramm nach DIN 45621 kann entnommen werden, daß bei 60 dB Sprachlautstärke eine Wortverständlichkeit von 100 % bei Normalhörenden mit Sicherheit erreicht ist.

Bei den schwerhörenden Probanden wurde die Sprachlautstärke bestimmt, die nötig ist, um 100 % Verständlichkeit zu erreichen. Bei um 10 dB erhöhter Lautstärkeintensität - um sicherzustellen, daß 100 %ige Verständlichkeit gegeben ist - wurde bei gleichzeitiger Beschallung mit einem der Geräusche die-

jenige Geräuschlautstärke gesucht, bei der 35 - 45 % der Wörter verstanden wurden.

Die Geräuschgabe erfolgte monaural auf dasselbe Ohr, auf das auch die Sprache gegeben wurde, um eine Vergleichbarkeit mit den Tonverdeckungsmessungen zu gewährleisten.

Die Geräuschlautstärke wird in SL angegeben. Alle Prüfungen wurden mit den Gruppe 9 - 12 des Freiburger Wörtertests durchgeführt.

10. Versuchsergebnisse

10.1. Normalhörende Probanden

Die Prüfung der Sprachverständlichkeit bei zusätzlicher Beschallung mit Störgeräuschen ergab folgende Werte:

Sprachsimulierendes Rauschen

SNR

5 dB - 57,5 % verstandene Wörter

0 dB - 20,5 % verstandene Wörter

Straßenverkehrslärm

SNR

20 dB - 42,5 % verstandene Wörter

15 dB - 24,4 % verstandene Wörter

Impulshaltiger Lärm

SNR

10 dB - 52,5 % verstandene Wörter

5 dB - 28,8 % verstandene Wörter

Es zeigt sich, daß für Verkehrslärm die Beeinträchtigung der Sprachdiskrimination am größten ist, gefolgt vom impulshaltigen Geräusch. Am geringsten ist die Beeinträchtigung durch sprachsimulierendes Rauschen (Abb. 45).

Es kann nicht genau angegeben werden, bei welchem Signalrauschabstand 40 % Verständlichkeit erreicht war, da die Geräuschlautstärke nur in 5 dB-Stufen einreguliert werden konnte.
In den Histogrammen wird jeweils der SNR angegeben, bei dem die Sprachdiskrimination größer als 40 % ist.

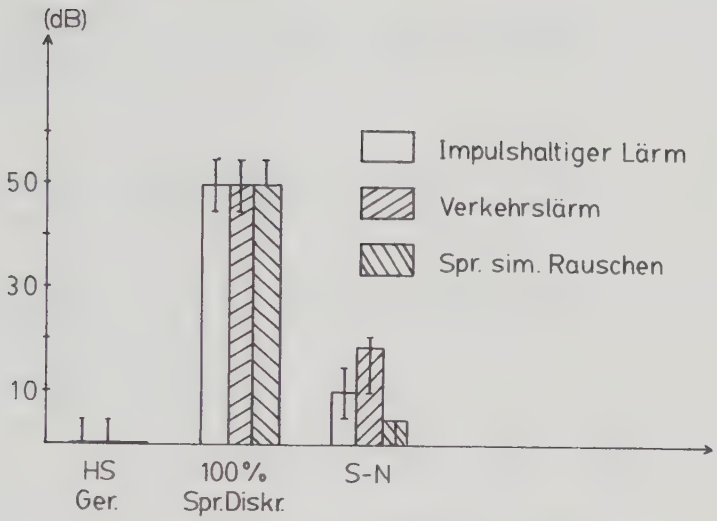

Abb. 45: Hörschwelle des Geräusches (HS Ger.), 100 %ige Sprachdiskrimination (100 % Spr. Diskr.) und Signalrauschabstand (SNR) bei der Untersuchung zur Sprachverständlichkeit im Lärm bei Normalpersonen

10.2. Probanden mit basocochleären Hörstörungen

Bei den Untersuchungen fanden sich folgende Ergebnisse:

Straßenverkehrslärm

100 %ige Sprachverständlichkeit ergab sich bei 80 dB.

SNR

30 dB - 46,5 % verstandene Wörter

25 dB - 18,75 %

Impulshaltiger Lärm

100 %ige Sprachverständlichkeit war bei 65 dB erreicht.

SNR

30 dB - 50 % verstandene Wörter

25 dB - 22,5 %

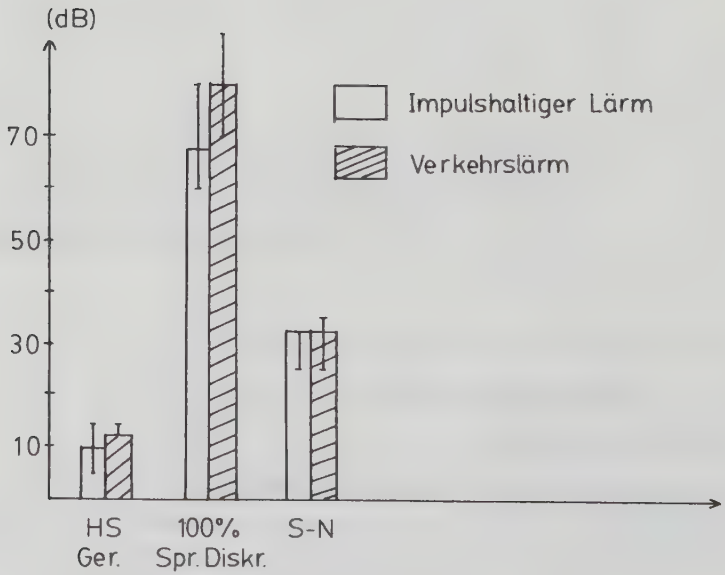

Abb. 46: Ergebnisse der Untersuchung zur Sprachverständlichkeit im Lärm bei Probanden mit basocochleären Hörstörungen

Die unterschiedlichen Sprachlautstärkewerte zur 100 %igen Sprachdiskrimination ohne gleichzeitigen Störschall sind durch unterschiedliche Patientenkollektive mit verschiedenen Gradienten des Hochtonverlustes bedingt (Abb. 42 und 43). Der SNR unterscheidet sich für beide Störschalle nicht.

10.3. Proband mit apicocochleärer Hörstörung
(Hörschwelle siehe Abbildung 44)

Eine 100 %ige Verständlichkeit der Sprache lag bei 55 dB vor. Bei gleichzeitiger Beschallung mit Störgeräuschen fanden sich folgende Ergebnisse:

Straßenverkehrslärm

SNR			
25 dB	-	40 %	
			verstandene Wörter
20 dB	-	7,5 %	

Impulshaltiger Lärm

SNR			
25 dB	-	50 %	
			verstandene Wörter
20 dB	-	10 %	

Bei dem Probanden mit Baßschwerhörigkeit zeigt sich zwischen der Beschallung mit impulshaltigem Lärm und Verkehrslärm kein wesentlicher Unterschied in der Beeinträchtigung der Sprachdiskrimination.

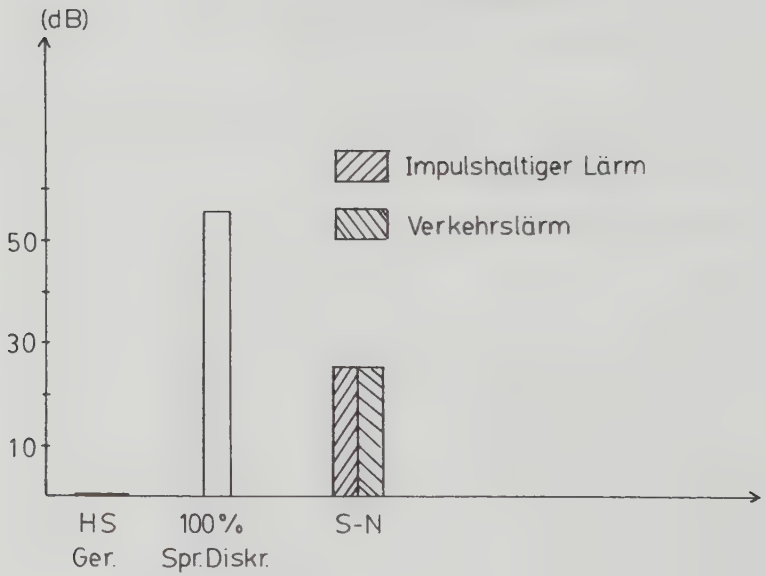

Abb. 47: Ergebnis der Untersuchung zur Sprachverständlichkeit im Lärm bei dem Probanden mit Baßschwerhörigkeit

11. Ergänzender Versuch

Es wurde ein Test angeschlossen, durch den ermittelt werden sollte, welches der drei Geräusche als am störendsten empfunden wurde.

Die Sprache wurde mit einer Lautstärke von 60 dB HL, das dazu gegebene Geräusch mit der Lautstärke, bei der etwa 40 %ige Sprachverständlichkeit vorlag, eingestellt. Die normalhörenden Probanden wurden gebeten, auf einer fünfstufigen Skala von 1 = stört gar nicht bis 5 = stört sehr die entsprechende Wertung anzugeben.

Es ergab sich die Tabelle 2:

	stört gar nicht ←				→ stört sehr
	1	2	3	4	5
Sprachsim. Rauschen	4	4	3	1	
Verkehrslärm	1	3	3	3	2
Impulshaltiger Lärm	1		3	4	4

Tab. 2: Bewertung der Geräusche durch Normalpersonen

Der Zentralwert der Wertungen war:

Sprachsimulierendes Rauschen	2
Verkehrslärm	3
Impulshaltiger Lärm	4

Am wenigsten störend wurde das sprachsimulierende Rauschen empfunden, am störendsten ist nach Angabe der Patienten der impulshaltige Lärm.

12. Diskussion

1) Vergleich der Untersuchungen an normalhörenden und hörgeschädigten Probanden

Untersucht man das Verhalten der Normalpersonen im Vergleich zu dem der Hochtonpatienten, zeigt sich, daß für die Hochtonpatienten schon die Sprachdiskrimination ohne gleichzeitige Störschallgabe erschwert ist.

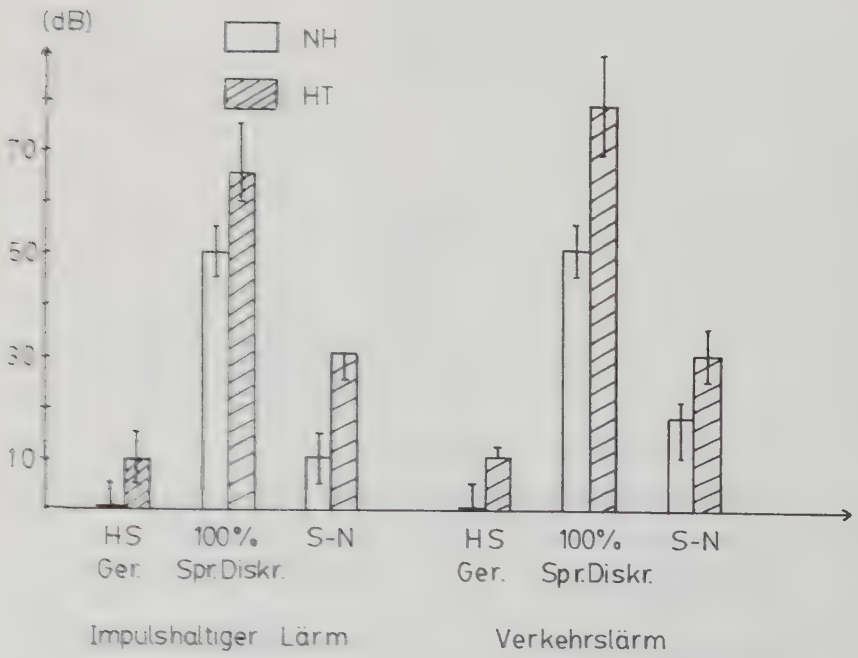

Abb. 48: Ergebnisse der Untersuchungen zur Sprachverständlichkeit im Lärm: Vergleich der Normalpersonen und Hochtonpatienten

Zum Sprachverständnis bei gleichzeitiger Störgeräuschgabe benötigen die Patienten größere Signalrauschabstände sowohl bei impulshaltigem Lärm als auch bei Verkehrslärm.
Die Differenz zwischen dem SNR der Normalpersonen und der Patienten ist bei impulshaltigem Lärm größer als bei Verkehrslärm. Das deutet darauf hin, daß Hochtonschwerhörige im Vergleich zu Normalpersonen durch impulshaltigen Lärm übermäßig stark gestört werden.

Auch beim Baßschwerhörigen zeigt sich diese im Vergleich zu Normalpersonen stärkere Beeinträchtigung durch den impulshaltigen Lärm. Die erforderliche Lautstärke für 100 %ige Sprachverständlichkeit ohne Störschall zeigt kaum eine Differenz zu der für Normalhörende erforderlichen.

In dem in Abschnitt 11 beschriebenen Versuch war der impulshaltige Lärm als am störendsten ermittelt worden. Die Verdeckungsuntersuchung zeigt bei den Normalpersonen ein gegensätzliches Verhalten, Straßenverkehrslärm beeinträchtigt das Sprachverständnis weit mehr als das impulshaltige Geräusch. Auch die Ergebnisse der Verdeckungsmessungen der Hochtonpatienten entsprechen nicht der subjektiven Beurteilung des Geräuschflusses.

Unsere Untersuchungen zeigen, daß bei Störgeräuschen, deren Hauptenergieschwerpunkt im Frequenzbereich der Sprache liegt, die Selektionsfähigkeit des Gehörs bei Hörverlusten stark eingeschränkt ist.

2) Vergleich unserer Untersuchungen mit Ergebnissen in der Literatur

Das Geräusch mit dem tieferen Frequenzspektrum - der Verkehrslärm - verdeckt Sprache stärker als die anderen Geräusche. Eine Erklärung dafür kann in dem von MAITRE (1972) beobachteten stärkeren Maskierungseffekt tieffrequenter als hochfrequenter Geräusche auf die Sprache gesehen werden.

Eventuell läßt sich die Tatsache, daß entgegen der subjektiven Bewertung der Geräusche impulshaltiger Lärm weniger störend auf das Sprachverständnis wirkt als der Verkehrslärm korrelie-

ren zur Untersuchung von CARHART et al. (1966), in der mit moduliertem weißen Rauschen ein gegenüber gleichmäßig verdeckendem Rauschen verbesserter SNR gefunden wurde.

Zuordnen lassen sich unsere Untersuchungsergebnisse zu den Beobachtungen von OLSEN et al. (1975) mit weißem Rauschen und MACRAE und BRIDGEN (1973) u.a.m. mit einem tieffrequenteren Störgeräusch, die zeigen, daß Patienten mit Hochtonverlust durch das Störgeräusch stärker beeinträchtigt werden als Normalpersonen.

Auch für unsere Ergebnisse könnte die Erklärung von SCHULTZ-COULON (1973) (siehe Abschnitt 8) gelten.

Die Untersuchungsergebnisse baßschwerhöriger Patienten stehen im Gegensatz zu der Aussage von OLSEN et al. (1975), daß die Kommunikation Baßschwerhöriger unter Lärm besonders stark leidet.

13. Schlußfolgerungen

Aus dem Vergleich der Untersuchungsergebnisse zur Verdeckung von Tönen durch Umweltgeräusche und zur reduzierten Sprachdiskrimination unter Störgeräuscheinfluß ergab sich bei den Patienten eine allein aus den Ergebnissen zur Verdeckung von Tönen nicht zu erwartende Vergrößerung des nötigen SNR.

Um die Kommunikationsbeeinträchtigung hörgeschädigter Patienten näher beurteilen zu können, waren zusätzliche Untersuchungen zum Sprachverständnis erforderlich.

Unberücksichtigt bei unseren Untersuchungen blieb die zum Beispiel von FELDMANN (1963), LICKLIDER (1948) und anderen festgestellte Verbesserung des Sprachverständnisses bei binauraler Gabe des Störgeräusches und monauraler Gabe der Sprache.

Unsere Untersuchungen bestätigen, daß bei Störgeräuschen, deren Hauptenergieschwerpunkt im Frequenzbereich der Sprache liegt, die Selektionsfähigkeit des Gehörs bei Hörverlusten hochgradig eingeschränkt ist.

14. Zusammenfassung

Ziel der in der Arbeit beschriebenen Untersuchungen war es, den Störeinfluß von Umweltgeräuschen auf die Hörschwelle von Tönen bzw. das Verständnis von Sprache beim normalen und pathologischen Gehör zu untersuchen.

Die Experimente wurden an 72 Normalhörenden und 78 Innenohrschwerhörigen durchgeführt, wobei die Innenohrschwerhörigen eingeteilt wurden in basochochleär, pancochleär und apicocochleär Hörgeschädigte. Die verdeckenden Geräusche waren sprachsimulierendes Rauschen, Straßenverkehrslärm und impulshaltiger Lärm.

Bei den Untersuchungen zur Verdeckung von Tönen bei Normalpersonen ergab sich im Bereich von 500 - 2000 Hz bei allen geprüften Geräuschen ein fast gleich starker Störeinfluß, nur bei 250 Hz dominierte die Verdeckung durch Verkehrslärm gegenüber der bei den anderen Störschallen. Mit zunehmenden Verdeckungspegeln nahm die Mithörschwelle bei fast allen Frequenzen linear zu.

Die Hochtonpatienten zeigten gegenüber den Normalpersonen bei sprachsimulierendem Rauschen und noch deutlicher bei Straßenverkehrslärm eine ungünstigere Mithörschwelle in den tiefen, eine etwas günstigere zu den hohen Frequenzen. Im Unterschied zu den Verdeckungsergebnissen mit Verkehrslärm bei normalhörenden Probanden findet man bei den pancochleär Hörgeschädigten eine noch stärkere Beeinflussung in den tiefen Frequenzen. Bei den Baßschwerhörigen fiel eine stärkere Beeinflussung durch den Verkehrslärm zu den hohen Frequenzen auf.

Die Verdeckungswirkung wird in erster Linie vom Spektrum des Geräusches bestimmt, in geringerem Maße vom Typ der Innenohrschwerhörigkeit; so war unabhängig von der Art der Innenohrschwerhörigkeit besonders der tiefe Frequenzbereich von der Verdeckung betroffen.

Die Sprachdiskrimination normalhörender Probanden wurde am stärksten durch Verkehrslärm, gefolgt von impulshaltigem Lärm beeinträchtigt. Das sprachsimulierende Rauschen zeigte die geringste Beeinflussung.

Bei den Patienten mit Hochtonschwerhörigkeit zeigte sich bereits in Ruhe eine verschlechterte Sprachdiskrimination. Bei Verdeckung mit Verkehrslärm und impulshaltigem Lärm unterschied sich der für etwa 40 %ige Verständlichkeit erforderliche Signalrauschabstand für beide Störschalle nicht. Die Patienten benötigen im Vergleich zu Normalpersonen größere Signalrauschabstände bei Verkehrslärm und besonders bei Impulslärm, der überproportional stark stört. Ein gleichsinniges Verhalten wurde bei einem baßschwerhörigen Patienten festgestellt; seine Sprachdiskrimination in Ruhe war praktisch ungestört.

Die Selektionsfähigkeit des Gehörs bei Hörverlusten ist bei Geräuschen mit Hauptenergieschwerpunkt im Sprachfrequenzbereich hochgradig eingeschränkt.

Bei der Diskussion der Versuchsergebnisse wird jeweils der Bezug zu Darstellungen in der Literatur hergestellt.

15. Literaturverzeichnis

1. AINSWORTH, W.A. 1976. Mechanisms of speech recognition. International Series in Natural Philosophy. Volume 85

2. BLAUERT, J. 1974. Räumliches Hören. S. Hirzel Verlag Stuttgart

3. BRAUNE, H.; GRUBER, J. 1973. Zur Lästigkeit zeitlich schwankender Schallreize. DAGA 1973

4. CALEARO, C.; PESTALOZZA, G.; TEATINT, G.P. 1959. La Compressione della Voce parlata in Presenza di differenti Condizioni di Rumore. Arch. ital. Otol. 70, 570

5. CARHART, R.; TILLMAN, T.W.; JOHNSON, K.R. 1966. Binaural masking of speech by periodically modulated noise. J.A.S.A. 39, 1037

6. COHEN, R.L.; KEITH, R.W. 1976. Use of low-pass-noise in word-recognition testing. J. Speech Hearing Res. 19 (1), 48

7. COMMER, W.K.; RUDMOSE, G. 1967. Community response to noise. Handbook of sensory physiology V_3 Auditory System.

8. COOPER, J.C.; CUTTS, B.P. 1971. Speech discrimination in noise. J. Speech Hearing Res. 14, 332

9. DAVIS, H. 1957. Biophysics and physiology of the inner ear. Physiological Reviews 37, 1

10. FELDMANN, H. 1963. Untersuchungen über das binaurale Hören unter Einwirkung von Störgeräusch. Ein Beitrag zur zentralnervösen Verarbeitung akustischer Information. Arch. Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde 181, 337

11. FLANAGAN, J.L. 1972. Speech analysis, synthesis and perception. Kommunikation und Kybernetik in Einzeldarstellungen, Wolter, H., Keidel, W.D.

12. GAUER, O.H.; KRAMER, K.; JUNG, R. — 1972. Physiologie des Menschen. Band 12, Hören, Stimme, Gleichgewicht. Urban und Schwarzenberg München

13. HAHLBROCK, K.-H. — 1970. Sprachaudiometrie. Thieme Verlag Stuttgart

14. HAWKINS, J.E. STEVENS, S.S. — 1950. The masking of pure tones and of speech by white noise. J.A.S.A. 22, 1188

15. KEITH, R.W.; TALIS, H.P. — 1972. The effects of white noise on PB scores. Audiology 11, 177

16. KEIDEL, W.D. — 1975. Physiologie des Gehörs. Thieme Verlag Stuttgart

17. KEIDEL, W.D.; NEFF, W.D. — 1974. Auditory System. Handbook of sensory physiology, Vol. V Springer Verlag Berlin-Heidelberg-New York

18. LICKLIDER, J.C.R. — 1948. The influence of intraaural phase relations upon the masking of speech by white noise. J.A.S.A. 20, 2

19. LÜSCHER, E.; ZWISLOCKI, J. — 1949. Adaptation of the ear to sound stimuli. J.A.S.A. 21, 2

20. MACRAE, J.H.; BRIDGEN, D.N. — 1973. Auditory threshold impairment and every day speech reception. Audiology 12, 272

21. MAITRE, L.; MAITRE, A.; HELIAS, J. — 1972. Experimentelle Untersuchungen zum Wortverständnis als Funktion der Tonhöhe des Lärms. Bull. Audiophonol. (Besançon) 2, 81

22. NEILL, J. O' — 1975. Measurement of hearing by tests of speech and language in measurement procedures in speech, hearing and language. Hrsg.: Sigh, S. 1975. University Park Press Baltimore

23. OLSEN, W.O.; NOFFSINGER, D.; KURDZIEL, S. — 1975. Speech discrimination in quiet and in white noise by patients with peripheral and central lesions. Acta otolaryngol. (Stockh.) 80, 375

24. OPITZ, H.J. — 1973. Untersuchungen zur Entstehung und Maskierung von Tinnitus. (Habilitationsschrift, Bonn)

25. SCHARF, B. 1971. Fundamentals of auditory masking. Audiology 10 (1), 30

26. SCHULTZ-COULON,H.J. 1973. Über die Bedeutung des Umweltgeräusches für den Hochtonschwerhörigen. HNO 21, 26

27. SMITH, L.L.; GOLDSTEIN, R. 1973. Influence of background noise on the early components of the averaged electrophonic response to clicks. J. Speech Hearing Res. 16 (3), 488

28. SPOOR, A.; EGGERMONT, J.J. 1974. Action potentials in the cochlea. Masking, adaptation and recruitment. Audioloty 10 (5), 340

29. VOGTEN, L.L.M. 1974. Pure tone masking. A new result from a new method. Facts and models in hearing. Communication and Cybernetics 8, 142

30. WEDEL, H. von 1977. Diskriminationsverhalten von Normal- und Schwerhörigen bei kritischem Signalrauschabstand. Laryngologie, Rhinologie, Otologie. 56, 2

31. WEILER, E.M.; LOEB, M.; ALLUISI, E.A. 1972. Auditory adaptation and its relationship to a model for loudness. J.A.S.A. 51 (1), 638

32. WILSON, R.H.; STREAM, R.W.; DIRKS, D.D. 1973. Spread-of-Masking effects on pure tones and several speech stimuli. J.Speech Hearing Res. 16, 385

33. ZWICKER, E.; FELDTKELLER, R. 1967. Das Ohr als Nachrichtenempfänger. Hirzel Verlag Stuttgart

34. ZWISLOCKI, J.J. 1970. Central masking and auditory frequency selectivity. in Plomp, R.; Smoorenburg, G.F.; Frequency Analysis and Periodicity Detection in Hearing.

Herrn Prof.Dr. H.J. Opitz danke ich für die freundliche Überlassung des Arbeitsplatzes und die Stellung des Themas.

Ferner danke ich Herrn Dr. von Wedel, Herrn Effelsberg und den weiteren Mitarbeitern der audiometrischen Abteilung der Hals-Nasen-Ohren Klinik der Universität Bonn.

Lebenslauf

Am 28.11.1953 wurde ich als Tochter des Wilhelm Janinhoff und seiner Ehefrau Anita, geborene Althoff, in Essen geboren.

Von Ostern 1960 bis Ostern 1964 besuchte ich die Volksschule Am Voßbusch in Essen-Bredeney. Anschließend besuchte ich das Mädchengymnasium Essen-Bredeney, bis ich im Sommer 1969 auf das Gymnasium Essen-Borbeck überwechselte, wo ich im Mai 1972 die Reifeprüfung ablegte.

Nach einem einsemestrigen Studium der Physik an der Universität Münster nahm ich im Sommersemester 1973 das Studium der Humanmedizin an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn auf.

Im Mai 1979 beendete ich das Studium mit dem Staatsexamen.

FOTODRUCK J. MAINZ — Telefon: (02 41) 2 73 05
Neupforte 13, Nähe Markt, 5100 Aachen